



TUGAS AKHIR - RE 141581

**DESAIN IPAL KOMUNAL LIMBAH DOMESTIK  
PERUMAHAN SUKOLILO DIAN REGENCY  
DENGAN TEKNOLOGI CONSTRUCTED  
WETLAND**

DANDY PRAKOSO  
3312100005

DOSEN PEMBIMBING  
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - RE 141581

# **DESIGN OF COMMUNAL WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR DOMESTIC WASTEWATER IN SUKOLILO DIAN REGENCY RESIDENCE WITH CONSTRUCTED WETLAND TECHNOLOGY**

DANDY PRAKOSO  
3312100005

SUPERVISOR  
Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Institute of Technology Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### DESAIN IPAL KOMUNAL LIMBAH DOMESTIK PERUMAHAN SUKOLILO DIAN REGENCY DENGAN TEKNOLOGI *CONSTRUCTED WETLAND*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**DANDY PRAKOSO**

Nrp. 3312 100 005

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

**Bieby Voljant Tangahu ST., MT., PhD.**

**NIP. 19710818 199703 2 001**



# **DESAIN IPAL KOMUNAL LIMBAH DOMESTIK PERUMAHAN SUKOILLO DIAN REGENCY DENGAN TEKNOLOGI CONSTRUCTED WETLAND**

Nama : Dandy Prakoso  
NRP : 3312100005  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D

## **ABSTRAK**

Teknologi *Constructed wetland* merupakan sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang didesain dan dibangun menggunakan proses alami yang melibatkan vegetasi, media, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah domestik. Teknologi *constructed wetland* cocok untuk diterapkan di perumahan, sehingga teknologi ini cocok menjadi alternatif pengolahan limbah domestik. Perumahan Sukoililo Dian Regency (SDR) merupakan salah satu perumahan yang belum memiliki IPAL untuk mengolah *greywater*. Sehingga teknologi ini bisa diterapkan di perumahan SDR untuk meningkatkan kualitas sanitasi lingkungan.

Perencanaan sistem IPAL di Perumahan SDR mempertimbangkan aspek kuantitas dan kualitas air limbah domestik yang dihasilkan setiap harinya. Kualitas air limbah domestik menunjukkan nilai COD 320 mg/L; BOD 123 mg/L; dan TSS 60 mg/L, sedangkan kuantitas air limbah menunjukkan 453 m<sup>3</sup>/hari. Kemudian dilakukan analisis perhitungan masing-masing unit IPAL yang akan direncanakan di perumahan SDR agar sesuai dengan kriteria baku mutu pergub jatim no. 72 tahun 2013.

Sistem IPAL direncanakan terdiri dari unit bak ekualisasi, *Subsurface Flow Constructed Wetland* dengan tanaman *cattail sp*, dan kolam indikator. Hasil perencanaan menunjukkan efisiensi pengolahan seluruh sistem untuk COD, BOD, dan TSS masing-masing sebesar 86%, 80%, dan 46%, dengan efisiensi tersebut *effluent* limbah cair IPAL telah memenuhi baku mutu yang ditentukan. Biaya investasi seluruh sistem *constructed wetland* diperkirakan sebesar Rp 5.926.417.781. Perencanaan ini menghasilkan panduan untuk operasional dan perawatan IPAL.

**Kata Kunci : *constructed wetland*, *cattail sp* , *greywater*, dan IPAL perumahan**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **DESIGN OF COMMUNAL WASTEWATER TREATMENT PLANT FOR DOMESTIC WASTEWATER IN SUKOLILO DIAN REGENCY RESIDENCE WITH CONSTRUCTED WETLAND**

Name : Dandy Prakoso  
NRP : 3312100005  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Bieby Voijant Tangahu, ST., MT., Ph.D

## **ABSTRACT**

Constructed Wetland is a controlled treatment system, designed and built by natural process which involved vegetation, media, and microorganisms for treating domestic wastewater. Constructed wetland is suitable to be applied in residential area, which make this technology become one of domestic wastewater treatment alternative. Sukolilo Dian Regency (SDR) residence have no wastewater treatment plant to treat their greywater. By applying this technology for this regency, the quality of environmental sanitation quality can be risen.

Some aspects which considered in SDR residence constructed wetland planning system are the daily quantity and quality of domestic wastewater. The quality of domestic wastewater shows COD concentration 320 mg/L, BOD 123 mg/L, and TSS 60 mg/L. The daily quantity of wastewater is 453 m<sup>3</sup>/day. Standard regulation used for wastewater treatment planning is Peraturan Gubernur Jawa Timur no 72 Tahun 2013.

This treatment system consist of equalization pond, subsurface flow constructed wetland with cattail sp, and indicator pond. The theoritical efficiency of all system for COD, BOD, and TSS are 86%, 80%, and 46%. The effluent from this wastewater treatment have met the requirement of the regulation standard. The total investment for all treatment system was estimated about Rp 5.926.417.781. The results of this planning are design of treatment system and its guidance for operational and maintenance.

**Keyword : constructed wetland, cattail sp, greywater, residential WWTP**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga tugas akhir ini dengan judul “Desain IPAL Komunal Limbah Domestik Perumahan Sukolilo Dian Regency dengan Teknologi *Constructed Wetland* dapat diselesaikan.

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah membimbing selama penyusunan laporan tugas akhir ini.
2. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscES selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Dr. Ir. Irwan Bagyo Santoso, M.T., selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
4. Ir. Atiek Moesriati, M.Kes. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.
5. Teman - teman angkatan 2012 yang selalu mendukung selama proses penyusunan tugas akhir
6. Orang tua dan keluarga yang memberikan dukungan dan doa hingga terselesaikan laporan tugas akhir ini

Penyusunan laporan ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun tentunya masih terdapat kesalahan. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan.

Surabaya, Juni 2016  
Penyusun



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Manfaat .....	2
1.5 Ruang Lingkup .....	3
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Air Limbah Domestik .....	5
2.1.1 Metode Pengolahan Air Limbah Domestik .....	5
2.1.3 Perhitungan Kapasitas Air Limbah Domestik .....	6
2.1.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik .....	6
2.1.5 Penentuan sampel .....	6
2.2 <i>Constructed Wetland</i> .....	7
2.2.1 Definisi <i>Constructed Wetland</i> .....	7
2.2.2 Tipe <i>Constructed Wetland</i> .....	7
2.2.3 Prinsip Pengolahan <i>Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)</i> .....	8
2.2.4 Kriteria Desain Perencanaan <i>Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)</i> .....	10
2.2.5 Tanaman <i>Cattail</i> .....	10
2.2.6 Tanaman <i>Canna</i> .....	11
2.3 Perhitungan Sistem <i>Constructed Wetland</i> .....	11
2.3.1 Perhitungan Unit <i>Constructed Wetland</i> .....	11
2.3.3 Perhitungan kehilangan tekanan .....	13
2.3.4 Perhitungan Porositas Media .....	14
BAB III .....	15
GAMBARAN UMUM .....	15
3.1 Gambaran umum wilayah Perencanaan .....	15
3.2 Kondisi Eksisting Lokasi .....	15

3. 2.1	Tipe Rumah .....	15
3. 2.1	Penyaluran Air Limbah Di Perumahan.....	16
3.2	Lokasi Perencanaan .....	18
BAB IV	.....	19
METODE PERENCANAAN	.....	19
4.1	Kerangka Perencanaan .....	19
4.2	Tahapan perencanaan.....	22
4.2.1	Identifikasi Masalah .....	22
4.2.2	Ide Perencanaan .....	22
4.2.3	Rumusan Masalah.....	22
4.2.4	Tujuan.....	23
4.2.5	Studi Literatur .....	23
4.2.6	Pengumpulan Data .....	23
4.2.7	Analisis Data dan Perencanaan.....	24
BAB V	.....	27
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	27
5.1	Karakteristik Air Limbah.....	27
5. 1.1	Kualitas Air Limbah.....	27
5. 1.2	Kuantitas Air Limbah.....	28
5.2	Analisis Perencanaan dan Keseimbangan .....	29
5.3	Perencanaan Unit-unit Pengolah Air Limbah.....	36
5. 3.2	Perencanaan Bak Ekualisasi .....	38
5. 3.3	Perencanaan Unit <i>Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)</i> .....	41
5. 3.4	Perencanaan Unit Kolam Indikator .....	47
5. 3.5	Perencanaan Sistem Pengaliran dan Profil Hidrolis.....	49
5.4	Operasional dan Perawatan IPAL.....	52
5.4.1	Pengoperasian Awal IPAL .....	52
5.4.2	Pengoperasian Rutin IPAL.....	55
5.4.3	Perawatan Rutin IPAL.....	55
BAB VI	.....	57
Volume Pekerjaan dan Rencana Anggaran Biaya	.....	57
6.1	Volume Pekerjaan .....	57
6.2	Rencana Anggaran Biaya (RAB) .....	60
BAB VII	.....	63
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	63
7.1	Kesimpulan.....	63
7.2	Saran .....	63
DAFTAR PUSTAKA	.....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mekanisme Penguraian Secara Umum.....	9
Gambar 2. 2 Cattail.....	10
Gambar 2. 3 Canna .....	11
Gambar 3. 1 Lokasi perumahan dari google map.....	15
Gambar 3. 2 Kondisi eksisting perumahan .....	16
Gambar 3. 3 Kondisi saluran drainase eksisting .....	17
Gambar 3. 4 Rencana lokasi IPAL.....	18
Gambar 3. 5 Foto rencana lokasi.....	18
Gambar 5. 1 Skema presipitasi di unit SSFCW.....	34
Gambar 5. 2 Skema evapotranspirasi di unit SSFCW.....	34
Gambar 5. 3 <i>Mass balance</i> IPAL .....	35
Gambar 5. 4 perencanaan pompa <i>feed</i> , potongan melintang (atas) dan denah (bawah) .....	36
Gambar 5. 5 pompa <i>feed</i> HCP F-31 .....	37
Gambar 5. 6 Denah bak ekualisasi (atas) dan potongan bak ekualisasi.....	41
Gambar 5. 7 media <i>bio-ball</i> .....	44
Gambar 5. 8 media <i>gravel</i> .....	45
Gambar 5. 9 Denah SSFCW .....	46
Gambar 5. 10 Denah kolam indikator .....	48
Gambar 5. 11 Potongan kolam indikator.....	49
Gambar 5. 12 Ilustrasi penanaman <i>cattail</i> .....	53
Gambar 5. 14 Ilustrasi penanaman.....	54
Gambar 5. 13 Ilustrasi waktu penanaman awal .....	54
Gambar 5. 15 Alat pemotong rumput.....	56
Gambar 6. 1 Tampilan perhitungan dengan Autocad .....	57
Gambar 6. 2 Tipikal Galian .....	58

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku mutu air limbah domestik sesuai Pergub jatim no. 72 tahun 2013.....	6
Tabel 2. 2 Mekanisme pengolahan setiap parameter .....	8
Tabel 2. 3 Kriteria Desain Constructed .....	10
Tabel 5. 1 Hasil analisa laboratorium.....	27
Tabel 5. 2 Data Perencanaan .....	28
Tabel 5. 3 Pemakaian air PDAM tiap bulan .....	29
Tabel 5. 4 kelebihan dan kekurangan <i>SSFCW</i> .....	30
Tabel 5. 5 Koefisien empiris.....	30
Tabel 5. 6 mass balance masing-masing unit.....	35
Tabel 5. 7 Fluktuasi air limbah yang dihasilkan dalam satu hari .....	38
Tabel 5. 8 <i>headloss</i> mayor pada setiap segmen .....	50
Tabel 5. 9 <i>headloss</i> minor setiap segmen .....	51
Tabel 5. 10 <i>headloss</i> total setiap segmen.....	52
Tabel 6. 1 volume pekerjaan penggalian tanah .....	57
Tabel 6. 2 volume pekerjaan plat lantai .....	58
Tabel 6. 3 volume pekerjaan dinding beton setiap unit.....	59
Tabel 6. 4 Volume pekerjaan pengurugan tanah kemabali .....	59
Tabel 6. 5 volume pekerjaan aksesoris pelengkap .....	59
Tabel 6. 6 RAB konstruksi IPAL.....	60
Tabel 6. 7 RAB komponen penunjang IPAL .....	61

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan penduduk di Kota Surabaya memberikan dampak terhadap penurunan daya dukung lingkungan. Salah satu dampak dari pertumbuhan penduduk ini adalah meningkatnya jumlah air limbah domestik. Hal ini membuat perlunya dibangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Kondisi lingkungan di Surabaya membuat pengolahan air limbah domestik sebaiknya dilakukan secara setempat. Pengelolaan air limbah domestik secara setempat menggunakan teknologi lebih sederhana dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem terpusat (Nurhidayat, 2009). Pengelolaan air limbah domestik secara setempat cocok diterapkan untuk kawasan perumahan.

Perumahan Sukolilo Dian Regency merupakan salah satu perumahan di Kota Surabaya. Limbah *blackwater* di perumahan ini diolah dengan tangki septik yang terdapat di masing-masing rumah, sedangkan limbah *greywater* di buang langsung ke selokan. Menurut UU No. 32 Tahun 2009, setiap orang diperbolehkan membuang limbah ke media lingkungan hidup dengan syarat memenuhi baku mutu lingkungan hidup. Dari latar belakang tersebut maka diperlukan perencanaan unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Perumahan Sukolilo Dian Regency.

Teknologi *constructed wetland* dapat diterapkan sebagai teknologi pengolahan limbah *greywater* di perumahan atau domestik (Wibisono, 2013 ). *Constructed wetland* merupakan sistem pengolahan terencana atau terkontrol yang telah didesain dan dibangun menggunakan proses alami yang melibatkan vegetasi, media, dan mikroorganisme untuk mengolah air limbah (Risnawati, 2009). Prinsip pengolahan air limbah dengan *constructed wetland* dengan mengalirkan air limbah di bawah media sehingga limbah akan diserap melalui akar tanaman. *Constructed wetland* merupakan metode pengolahan air limbah yang mudah dalam perawatan dan memiliki nilai efisiensi yang cukup tinggi (Toscano *et al.*, 2009).



*Constructed wetland* dapat mendegradasi zat organik, nitrogen, dan *phosphorus* secara serentak (Rai *et al.*, 2013). Sehingga *constructed wetland* mampu mengurangi kandungan nutrisi secara signifikan.

Penggunaan *constructed wetland* dapat menjadi alternatif pengolahan air limbah domestik skala perumahan. Keuntungan yang diperoleh dari sistem ini adalah memperoleh nilai efisiensi yang tinggi dari pengolahan limbah domestik skala perumahan dan memperoleh desain IPAL komunal yang memiliki nilai estetika.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari perencanaan ini sebagai berikut:

1. Bagaimana desain pengolahan air limbah *greywater* pada perumahan Sukolilo Dian Regency dengan teknologi *constructed wetland*?
2. Berapa biaya yang diperlukan untuk membangun instalasi pengolahan air limbah *greywater* dengan teknologi *constructed wetland*?
3. Bagaimana melaksanakan Operasional dan perawatan IPAL *constructed wetland*?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari perencanaan ini sebagai berikut:

- 1 Mendapatkan desain pengolahan air limbah *greywater* dengan teknologi *constructed wetland* di perumahan sukolilo dian regency.
- 2 Mendapatkan nilai Volume Pekerjaan (BOQ) dan Rancangan Anggaran Biaya (RAB).
- 3 Mendapatkan panduan Operasional dan perawatan IPAL *constructed wetland*.

## **1.4 Manfaat**

Manfaat dari perencanaan ini sebagai berikut:

1. Memperoleh desain IPAL yang sesuai untuk Perumahan Sukolilo Dian Regency.
2. Memperoleh anggaran biaya untuk membangun IPAL di Perumahan Sukolilo Dian Regency.
3. Memperoleh desain IPAL yang memiliki nilai estetika.

4. Meningkatkan kualitas sanitasi di Perumahan Sukolilo Dian Regency.

### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dari perencanaan ini sebagai berikut:

1. Perencanaan IPAL dilakukan di Perumahan Sukolilo Dian Regency.
2. Perencanaan IPAL adalah bangunan *Constructed Wetland* dan bangunan pendukungnya.
3. Air limbah yang diolah oleh IPAL adalah *greywater*.
4. Parameter desain yang digunakan meliputi debit harian, COD, BOD, dan TSS.
5. Perencanaan IPAL adalah *preliminary design*.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Air Limbah Domestik**

##### **2.1.1 Metode Pengolahan Air Limbah Domestik**

Pengolahan air limbah bertujuan untuk menghilangkan dan/ atau mengurangi kontaminasi yang ada di dalam air limbah sehingga tidak mengganggu apabila dibuang ke lingkungan. Pada prinsipnya, air limbah domestik dapat diolah dengan 2 proses, yaitu proses secara fisik, dan biologis. Kedua proses tersebut bisa digabung/ dikombinasikan dan bisa dilakukan secara terpisah. Pemilihan jenis pengolahan air limbah berdasarkan karakteristik dan jenis air limbah itu sendiri.

##### **1. Pengolahan Secara Fisika**

Pengolahan limbah domestik secara fisika bisa dilakukan dengan cara filtrasi, sedimentasi, flotasi dan adsorpsi. Proses pengolahan fisika yang umum di terapkan dalam pengolahan air limbah yaitu sedimentasi. Sedimentasi adalah proses pemisahan padatan dan cairan dengan cara mengendapkan zat tersuspensi dengan memanfaatkan gaya gravitasi (Abraiman dan Houssam, 2000). Flotasi adalah pengolahan air limbah dengan cara memanfaatkan daya apung untuk memisahkan partikel padat rendah densitas. Adsorpsi dilakukan dengan cara penambahan adsorben agar terjadi penumpukan materi pada *interface* antara zat kontaminan dan adsorben.

##### **2. Proses Biologis**

Pengolahan air limbah secara biologis aerobik secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended growth*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached growth*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam. proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi. Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikro-organisme yang digunakan dibiakkan

pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain: trickling filter atau rotating biological contactor (RBC), contact aeration/ oxidation (aerasi kontak) dan lainnnnya (Said, 2010).

### 2.1.3 Perhitungan Kapasitas Air Limbah Domestik

Penentuan kapasitas / debit air limbah setiap orang/hari di tentukan dengan rumus sebagai berikut (Pratiwi dan Purwanti, 2015):

$$Q_{\text{ave air limbah}} = (70-80)\% \times Q_{\text{ave air bersih}} \quad (2.1)$$

### 2.1.4 Baku Mutu Air Limbah Domestik

Baku mutu air limbah domestik yang digunakan mengacu pada pergub jatim no. 72 tahun 2013 tentang baku mutu air limbah industri dan kegiatan usaha lainnya. Nilai ambang batas masing-masing parameter dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik Sesuai Pergub  
Jatim No. 72 Tahun 2013

Parameter	Kadar Maksimum(mg/L)
BOD	30
COD	50
TSS	50
Minyak dan Lemak	10
Ph	6 - 9
Faecal Coliform	2000 lah/100ml

### 2.1.5 Penetuan sampel

Sampel merupakan banyaknya masyarakat dari populasi yang digunakan sebagai sampel. Tujuan dari penentuan jumlah sampel untuk mendapatkan hasil yang representatif dari suatu populasi. Penentuan jumlah sampel dapat dihitung berdasarkan persamaan Slovin:

$$n = \frac{P}{1+(P \times D)} \quad (2.2)$$

Dimana:

n = Jumlah sampel

P = Jumlah populasi

D = Standar deviasi

## **2.2 Constructed Wetland**

### **2.2.1 Definisi Constructed Wetland**

Lahan basah didefinisikan sebagai daerah payau, rawa, lahan gambut atau air, baik alami atau buatan, permanen atau sementara, dengan air yang statis atau mengalir, segar, payau atau asin, termasuk daerah air laut, kedalaman yang surut tidak melebihi enam meter (Ramsar, 2012). Lahan basah buatan atau *constructed wetland* (CW) direkayasa dan dirancang untuk memanfaatkan proses alami yang berguna dan mengoptimalkan proses perbaikan kualitas air limbah domestik, limbah pertanian, industri limbah, dan bahkan jalan *run-off*.

### **2.2.2 Tipe Constructed Wetland**

Saat ini banyak tipe dari *constructed wetland* yang telah dikembangkan dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas pengolahan sistem. Secara umum tipe dari *constructed wetland* yang telah umum digunakan secara luas untuk aplikasi pengolahan air limbah sebagai berikut:

- *Free Water Surface* (FWS) *constructed wetland* memiliki permukaan air yang terbuka seperti wetland yang alami.
- *Vegetated Submerged Bed* (VSB) *constructed wetland* atau biasa disebut *Subsurface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) menggunakan media yang pada umumnya berupa tanah atau kerikil sebagai tempat melekatnya vegetasi. Air mengalir melalui bagian bawah permukaan media dari inlet menuju outlet.
- *Vertical Flow* (VF) *constructed wetland* akan mendistribusikan air melalui media pasir atau kerikil yang ditanami vegetasi. Air akan mengalir dari bawah (*upflow*) dan melewati akar dari vegetasi.

- *Sludge Dewatering Bed (Reed Bed)* menggunakan prinsip evapotranspirasi untuk mengurangi kadar air dalam lumpur umumnya menggunakan tanaman *Phragmites*.
- *Floating Treatment Wetland (FTW)* menggunakan media (sintetik/ alami) terapung sebagai tempat melekatnya tumbuhan, sehingga bagian batang dan daun tumbuhan terletak di atas permukaan air sedangkan akar tumbuhan tercelup ke dalam air.

### 2.2.3 Prinsip Pengolahan *Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)*

*Subsurface flow constructed wetland (SSFCW)* dikondisikan seperti *wetland* di alam. Mekanisme pengolahan dengan *SSFCW* secara umum melalui mekanisme fisik, kimia, dan biologis. Mekanisme pengolahan secara garis besar ditampilkan pada Tabel 2.2 dan divisualisasikan pada Gambar 2.3.

Tabel 2. 2 Mekanisme pengolahan setiap parameter

Parameter	Pengolahan		
	Fisika	Kimia	Biologi
Suspended Solid	sedimentasi		Degradasi biologis
BOD	sedimentasi		Degradasi biologis
COD	sedimentasi		Degradasi biologis
Logam(Ag,As,Cd,Cr,Cu, Hg,Ni,Pb,Se,Zn)	sedimentasi	pengendapa; adsorpsi; <i>ion exchange</i>	Akumulasi biologis
Petroleum hydrocarbons	Volatilisasi	adsorpsi	Akumulasi biologis
Synthetic hydrocarbons	sedimentasi; volatilisasi	Volatilisasi; adsorpsi	Akumulasi biologis
Senyawa nitrogen	sedimentasi	pengendapan ;adsorpsi	Akumulasi biologis ;akumulasi tanaman









removal BOD/COD dan temperatur, dengan rumus sebagai berikut:

- Efisiensi pengolahan BOD

$$R_{BOD} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \quad (2.3)$$

Dimana:  $R_{BOD}$  = Efisiensi pengolahan BOD  
 $C_{in}$  = Konsentrasi *influent* (mg/L)  
 $C_{out}$  = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

- Waktu detensi pengolahan BOD

$$R_{BOD} = \frac{HRT}{(22,8/T) + HRT} \quad (2.4)$$

Dimana: HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)  
 $T$  = *Temperature* (°C)

- Efisiensi pengolahan COD

$$R_{COD} = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \quad (2.5)$$

Dimana:  $R_{COD}$  = Efisiensi pengolahan COD  
 $C_{in}$  = Konsentrasi *influent* (mg/L)  
 $C_{out}$  = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

- Waktu detensi pengolahan COD

$$R_{COD} = \frac{HRT}{(15/T) + HRT} \quad (2.6)$$

Dimana: HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)  
 $T$  = *Temperature* (°C)

### 2.3.2 Perhitungan evapotranspirasi dan presipitasi

Pada unit SSFCW terjadi reaksi evapotranspirasi yang mengakibatkan berkurangnya kuantitas air dalam unit ini, berkurangnya kuantitas air dikarenakan tanaman memerlukan air dalam jumlah tertentu untuk reaksi *photosynthesis*. Besarnya nilai evapotranspirasi dalam suatu tanaman dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_e = E \times A_s$$

Dimana:

$Q_e$  = debit akibat evapotranspirasi ( $m^3/hari$ )

$E$  = laju evapotranspirasi tanaman ( $mm/hari$ )

$A_s$  = luas permukaan tanaman ( $m^2$ )

Pada saat hujan atau presipitasi unit wetland akan menerima beban dari air hujan, hal ini mengakibatkan peningkatan kuantitas air pada unit *constructed wetland*. Perhitungan peningkatan debit akibat presipitasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_p = P \times A_s$$

Dimana:

$Q_p$  = debit akibat presipitasi ( $m^3/hari$ )

$P$  = hujan harian maksimum ( $mm/hari$ )

$A_s$  = luas permukaan tanaman ( $m^2$ )

### 2.3.3 Perhitungan kehilangan tekanan

Pada sistem *constructed wetland* akan terjadi kehilangan tekanan akibat perjalanan air sepanjang sistem. Kehilangan tekanan (*headloss*) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

- Perhitungan *headloss* pada pipa bertekanan dihitung menggunakan rumus *Hazen-William*, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$hf = . \left[ \frac{Q}{D^3} \right] \quad (2.7)$$

Dimana:  $hf$  = *headloss* (m)

$Q$  = debit ( $m^3/s$ )

$C$  = koefisien kekasaran

$L$  = panjang pipa (m)

- Perhitungan *headloss* pada saluran terbuka dihitung menggunakan rumus manning, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$S = \left[ \frac{nvP}{3} \right] \quad (2.8)$$

Dimana :  $S$  = slope

$A$  = luas penampang basah ( $m^2$ )

$n$  = koefisien kekasaran

$P$  = keliling basah (m)

$v$  = kecepatan (m/s)

- *Headloss* pada aksesoris dihitung menggunakan rumus *Hazzen-William*, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$hf = k \left[ \frac{kv}{g} \right] \quad (2.9)$$

Dimana:

$hf$  = *headloss* (m)

$K$  = jumlah aksesoris

$v$  = kecepatan di dalam aksesoris (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

- *Headloss* pada media *SSFCW* dihitung dengan rumus sebagai berikut (Miller, 2007):

$$hf = \frac{Q \ s}{h} \quad (2.10)$$

Dimana:

$hf$  = *headloss* (m)

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$As$  = Permukaan *constructed wetland* ( $\text{m}^2$ )

$K$  = konduktifitas hidraulik (m/d)

$W$  = lebar *constructed wetland* (m)

$h$  = kedalaman muka air (m)

### 2.3.4 Perhitungan Porositas Media

Perhitungan porositas media bertujuan untuk mengetahui volume yang dibutuhkan media dalam suatu unit IPAL. Adapun perhitungan porositas media sebagai berikut (US EPA, 1993) :

Dimana:  $n$  = Porositas (%)

$V_p$  = Volume poros ( $\text{m}^3$ )

$V$  = Volume total media ( $\text{m}^3$ )

$$n = \frac{V_p}{V} \times 100 \% \quad (2.11)$$

## **BAB III**

### **GAMBARAN UMUM**

#### **3.1 Gambaran umum wilayah Perencanaan**

Perumahan Dian Regency terletak di Surabaya Timur tepatnya berada di Jalan Sukolilo Kasih no. 20 Kelurahan Keputih Kecamatan Sukolilo. Jalan akses menuju perumahan Sukolilo Dian Regency melalui Jalan Arief Rahman Hakim. Peta lokasi perumahan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Lokasi perumahan dari google map

Sumber: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com)

#### **3.2 Kondisi Eksisting Lokasi**

##### **3. 2.1 Tipe Rumah**

Perumahan Dian Regency dibangun di area seluas 11,8 hektar dengan jumlah seluruh rumah sekitar 600 unit. Perumahan Dian Regency Sukolilo. Perumahan ini terdiri atas rumah berlantai 1 dan 2, dengan rata-rata luas tanah setiap rumah  $\pm 90 \text{ m}^2$  hingga  $200 \text{ m}^2$ . Penghuni di perumahan ini umumnya terdiri dari 5 orang tiap rumahnya. Selain itu di

perumahan ini masih cukup banyak rumah yang tidak dihuni oleh pemiliknya, hanya sekitar 70 % rumah yang berpenghuni.



Gambar 3. 2 Kondisi eksisting perumahan  
Sumber: DR property

### 3. 2.1 Penyaluran Air Limbah Di Perumahan

Setiap rumah di Perumahan Sukolilo Dian Regency memiliki *septic tank* untuk mengolah limbah *blackwater*. Air *effluent* dari septic tank langsung di buang ke selokan/ drainase bersama dengan *greywater*, kondisi eksisting saluran drainase dapat dilihat pada Gambar 3.3. Kondisi ini menyebabkan masalah sanitasi seperti timbulnya nyamuk dan tikus. IPAL komunal yang didesain di perumahan ini diharapkan mampu menyelesaikan





### 3.2 Lokasi Perencanaan

IPAL dengan teknologi *constructed wetland* akan didesain di lahan kosong dengan luas lahan tersedia 2100 m<sup>2</sup> yang terletak di jalan Sukolilo Sejahtera 1, rencana lokasi IPAL dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5.



Gambar 3. 4 Rencana lokasi IPAL

Sumber: [www.earth.google.com](http://www.earth.google.com)



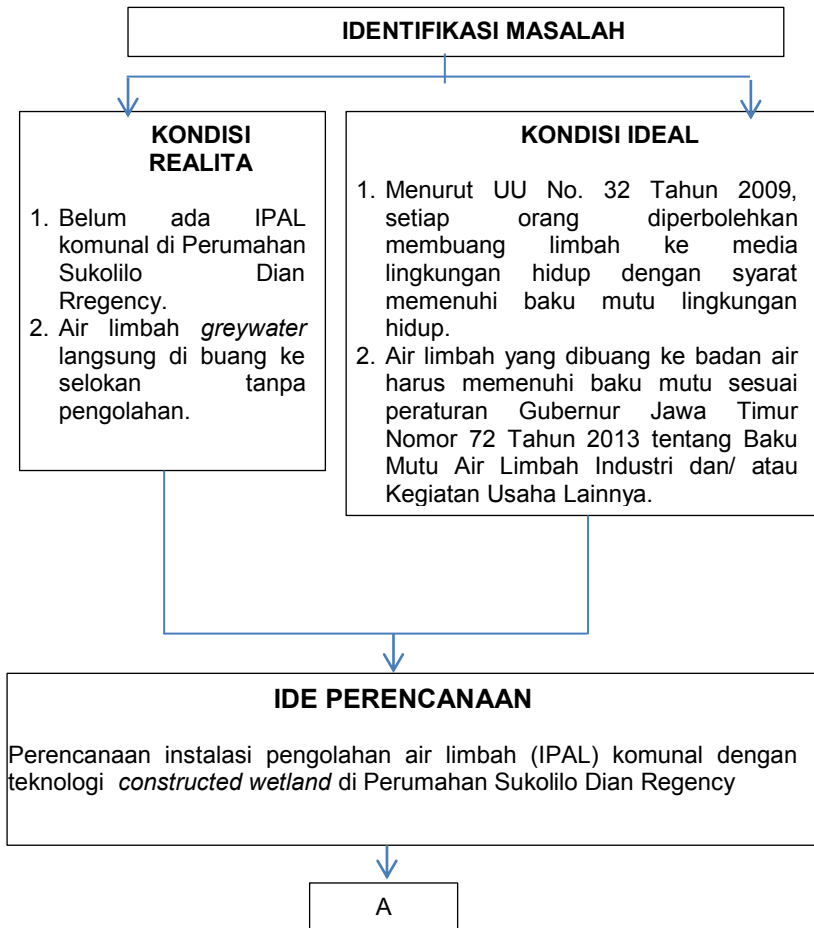
Gambar 3. 5 Foto rencana lokasi

Sumber: observasi lapangan

## BAB IV METODE PERENCANAAN

### 4.1 Kerangka Perencanaan

Kerangka perencanaan ini akan menentukan metode yang digunakan selama proses perencanaan untuk memperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan perencanaan ini. Kerangka perencanaan dapat di lihat pada Gambar 4.1.



A

### **RUMUSAN MASALAH**

1. Bagaimana desain pengolahan air limbah *greywater* pada perumahan Sukolilo Dian Regency dengan teknologi *constructed wetland*?
2. Berapa biaya yang diperlukan untuk membangun instalasi pengolahan air limbah domestik dengan kombinasi teknologi *constructed wetland*?
3. Bagaimana Standar Operasional Prosedur(SOP) perawatan IPAL *constructed wetland*?

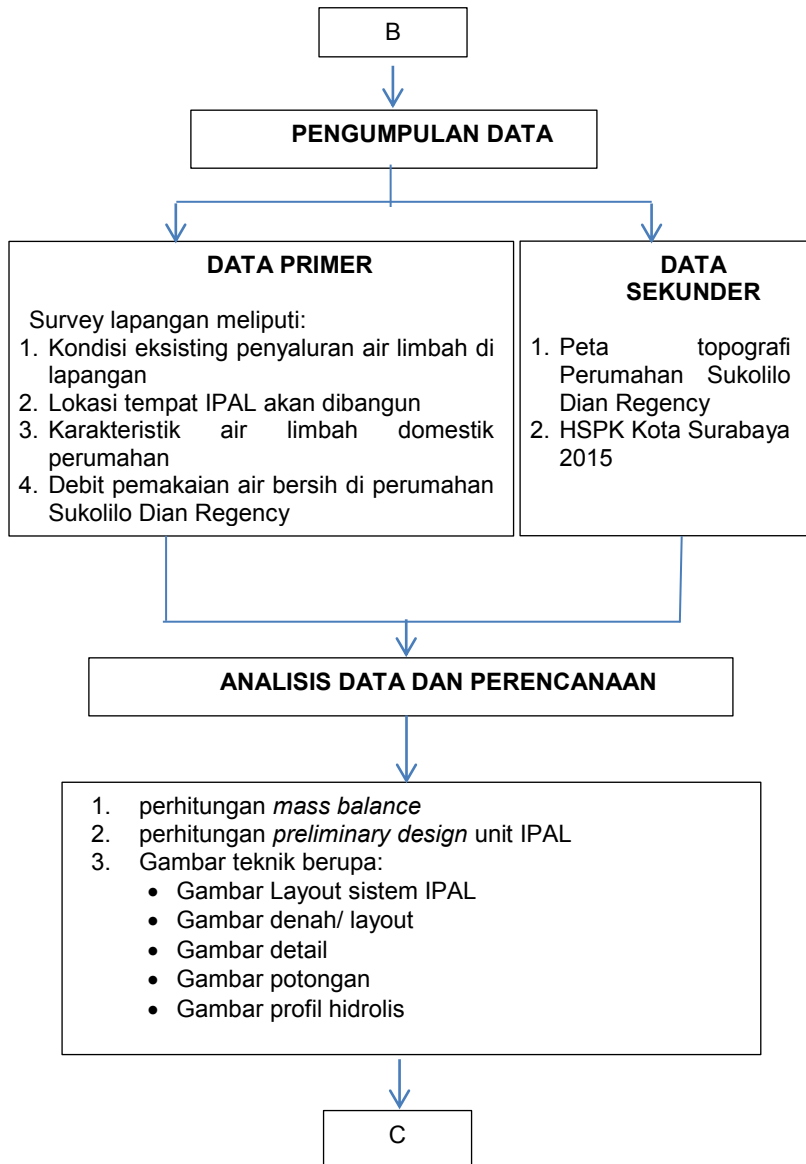
### **TUJUAN**

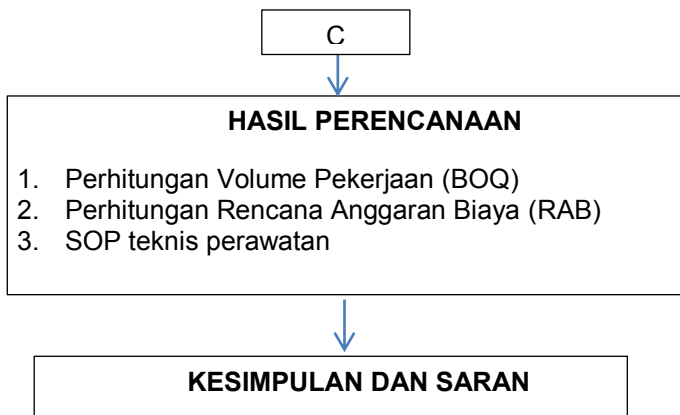
- 1 Mendapatkan desain pengolahan air limbah domestik skala perumahan dengan teknologi *constructed wetland*.
- 2 Mendapatkan nilai Volume Pekerjaan (BOQ) dan Rancangan Anggaran Biaya (RAB)
- 3 Mendapatkan panduan operasional dan perawatan IPAL *constructed wetland*

### **STUDI LITERATUR**

1. Karakteristik air limbah domestik
2. Teknologi Pengolahan air limbah domestik
3. Kriteria desain *constructed wetland*
4. Tanaman pada *constructed wetland*
5. Aksesoris dan bangunan pendukung sistem IPAL
6. Baku mutu air limbah domestik Sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya

B





Gambar 4. 1 Kerangka metode perencanaan

## 4.2 Tahapan perencanaan

### 4.2.1 Identifikasi Masalah

Air limbah *greywater* di perumahan sukolilo dian regency langsung dibuang langsung ke selokan tanpa pengolahan. Hal ini menimbulkan permasalahan timbulnya nyamuk, sehingga diperlukan Sistem Penyaluran Air Limbah (SPAL) dengan pipa yang menuju ke IPAL komunal.

### 4.2.2 Ide Perencanaan

Ide perencanaan di lokasi perencanaan berawal dari belum terolahnya air limbah *greywater* di lokasi perencanaan. Sehingga kadang timbul bau dari selokan dan menimbulkan banyaknya nyamuk di lokasi Perumahan Sukolilo Dian Regency.

### 4.2.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada perencanaan ini merupakan hasil dari kegiatan identifikasi masalah yang didapat dari pengamatan langsung terhadap kondisi di lokasi eksisting. Rumusan masalah yang ada sebagai berikut :

1. Belum diketahui data mengenai kualitas dan kuantitas air limbah domestik di Perumahan Sukolilo Dian Regency.
2. Belum tersedianya pengolahan air limbah domestik pada Perumahan Sukolilo Dian Regency dengan teknologi *constructed wetland*.

3. Berapa biaya yang diperlukan untuk membangun instalasi pengolahan air limbah domestik dengan teknologi *constructed wetland*.

#### **4.2.4 Tujuan**

Tujuan dari perencanaan ini merupakan jawaban atas rumusan masalah yang ada. Tujuan perencanaan ini sebagai berikut:

1. Mendapatkan data mengenai kualitas dan kuantitas air limbah domestik pada Perumahan Sukolilo Dian Regency.
2. Mendapatkan desain pengolahan air limbah domestik skala perumahan dengan kombinasi teknologi *constructed wetland*.
3. Mendapatkan nilai Volume Pekerjaan (BOQ) dan Rancangan Anggaran Biaya (RAB).

#### **4.2.5 Studi Literatur**

Studi literatur diperlukan untuk memahami teori-teori yang mendasari perencanaan ini. Sumber literatur yang digunakan meliputi buku teks, jurnal, peraturan dan regulasi, dan sumber informasi lainnya. Literatur yang digunakan untuk menunjang perencanaan ini meliputi:

1. Karakteristik air limbah domestik
2. Teknologi *Constructed wetland*
3. Kriteria desain *Constructed wetland*
4. Tanaman pada *constructed wetland*
5. Aksesoris dan bangunan pendukung sistem IPAL
6. Baku mutu air limbah domestik Sesuai Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Industri dan/ atau Kegiatan Usaha Lainnya

#### **4.2.6 Pengumpulan Data**

##### **4.2.6.1 Data Primer**

Data primer adalah data yang di peroleh langsung melalui survey langsung di lokasi yang menjadi objek perencanaan. Data primer yang diperlukan meliputi:

- a. Data debit harian rata-rata air limbah yang diperoleh melalui survey pemakaian air bersih penduduk eksisting secara acak dengan jumlah sampel responden yang telah ditentukan.

- b. Data kualitas *effluent* air limbah di lokasi eksisting melalui sampling langsung di saluran kolektor primer. Selanjutnya sampel dianalisis laboratorium dengan metode analisis dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Metode analisis parameter

Parameter	Metode Analisis
COD	Winkler
BOD	Titimetri
TSS	Gravimetri
pH	pH meter

Sumber : APHA, 1995

#### 4.2.6.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari instansi terkait, meliputi:

1. Peta wilayah Perumahan Sukolilo Dian Regency
2. HSPK Kota Surabaya tahun 2015

#### 4.2.7 Analisis Data dan Perencanaan

Analisis data dan perencanaan meliputi:

1. Perhitungan *mass balance*  
Perhitungan *mass balance* setiap unit untuk mengetahui berapa besar efisiensi removal dari setiap unit dalam sistem IPAL
2. Perhitungan *preliminary design* unit IPAL  
Perhitungan *preliminary design* meliputi :
  - Bak Ekualisasi  
Bak Ekualisasi akan menampung seluruh air buangan yang berasal dari outlet rumah sebelum menuju ke bangunan *constructed wetland*. Bak Ekualisasi berfungsi untuk meratakan debit air limbah dan menghomogenkan bahan organik yang terkandung di air limbah. Hal ini diperlukan karena debit air limbah yang fluktuatif.
  - *Constructed Wetland*  
Bangunan ini terdiri dari kolam yang berisi media kerikil sebagai tempat melekatnya akar tanaman.

- Bak penampung  
Bak penampung akan menampung air olahan dari bangunan *constructed wetland*. Bak ini berfungsi mengontrol kualitas air limbah dari bangunan *constructed wetland*, serta untuk mengetahui jika ada kegagalan pada sistem sebelumnya.
- Saluran outlet  
Air hasil olahan dari bak penampung selanjutnya dialirkan menuju saluran drainase secara *overflow*. Pengaliran secara *overflow* bertujuan mengurangi adanya padatan/ partikulat yang ikut terbuang ke saluran drainase.

### 3. Gambar desain

Dari hasil perhitungan desain di dapat gambar teknik berupa:

- Gambar denah sistem IPAL
- Gambar denah unit IPAL
- Gambar detail unit IPAL
- Gambar potongan
- Gambar profil hidrolis

### 4. Panduan operasional dan perawatan

### 5. Hasil Perencanaan

Pada hasil perencanaan ini akan di bahas:

- Perhitungan *Volume Pekerja* (BOQ)
- Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)
- Panduan operasional dan perawatan IPAL

### 6. Kesimpulan dan saran

Kesimpulan dan saran didapat setelah analisis data dan perencanaan telah dilakukan. Kesimpulan merupakan jawaban dari tujuan tugas akhir ini. Saran diberikan dengan tujuan untuk pengembangan ataupun tindak lanjut dari tugas akhir ini.



**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Karakteristik Air Limbah**

Karakteristik air limbah domestik di Perumahan Sukolilo Dian Regency diperoleh dari data primer dan data sekunder. Kualitas air limbah diketahui dari data primer, sedangkan kuantitas air limbah diperoleh dari kombinasi data primer dan data sekunder.

##### **5.1.1 Kualitas Air Limbah**

Kualitas air limbah domestik di Perumahan Sukolilo Dian Regency diketahui dari sampling di lapangan dan hasilnya diketahui dari analisis laboratorium. Sampling dilakukan sebanyak 4 kali untuk mengetahui tingkat fluktuasi kualitas air limbah tersebut. Metode sampling yang digunakan adalah *grab sampling*, sedangkan pengumpulan sampel dilakukan secara *composite* untuk memperoleh hasil yang representatif. Hasil analisis laboratorium ditampilkan pada Tabel 5. 1.

Tabel 5. 1 Hasil analisa laboratorium

	Parameter		
	TSS(mg/L)	COD(mg/L)	BOD(mg/L)
Analisis 1	60	256	105
Analisis 2	20	50	40
Analisis 3	50	320	123
Analisis 4	40	56	23

Berdasarkan data di atas diambil nilai parameter tertinggi pada analisis ke 2 untuk COD dan BOD, dan diambil data analisis ke 3 untuk nilai parameter TSS hal ini untuk mengantisipasi kinerja IPAL tetap maksimal pada beban maksimal.

Tabel 5. 2 Data Perencanaan

Parameter		
TSS (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
60	320	123

### 5. 1.2 Kuantitas Air Limbah

Kuantitas air limbah domestik diperoleh dari sampling penggunaan air bersih (PDAM) warga. Pemakaian air PDAM diketahui dari nomor pelanggan tiap rumah untuk kemudian di cek melalui website PDAM dengan data terlampir. Jumlah responden yang ditentukan dengan rumus statistik sebagai berikut:

$$n = \frac{P}{1+(P \times D)}$$

Dimana:

n = Jumlah sampel

P = Jumlah populasi

D = Standar deviasi

Selanjutnya dengan rumus tersebut didapat perhitungan sebagai berikut:

- Diketahui: n = 1500 orang

$$D = 7\%$$

$$n = \frac{1500}{1+(1500 \times 0,07^2)}$$

$$= 180 \text{ orang}$$

Dimana 1 KK = 5 orang, maka:

$$n = \frac{180 \text{ orang}}{5 \text{ orang/KK}}$$

$$= 35 \text{ KK}$$

Tabel 5. 3 Pemakaian air PDAM tiap bulan

Bulan	Pemakaian rata-rata PDAM (m <sup>3</sup> /org.hari)	Debit air limbah (m <sup>3</sup> /org.hari)	Keterangan
Desember	0,162	0,129	Debit minimal
Januari	0,211	0,169	
Februari	0,193	0,150	
Maret	0,195	0,156	Debit Maksimal
Rata-rata	0,190	0,151	

Setelah diketahui jumlah responden yang diperlukan dapat diketahui berapa kuantitas pemakaian air PDAM m<sup>3</sup>/org.hari. Diperoleh hasil perhitungan pemakaian air PDAM rata-rata sebesar 0,190 m<sup>3</sup>/org.hari. Selanjutnya kuantitas air limbah domestik diketahui 80% dari penggunaan air PDAM berdasarkan survey langsung di lapangan, dan diketahui debit air limbah harian sebesar 0,151 m<sup>3</sup>/org.hari. Perumahan SDR memiliki kapasitas maksimal 600 KK dan setiap KK terdiri atas 5 orang, sehingga bisa diperoleh total debit dalam 1 perumahan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Debit harian} &= 0,151 \text{ m}^3/\text{org.hari} \times 3000 \text{ orang} \\ &= \mathbf{453 \text{ m}^3/\text{hari}}\end{aligned}$$

## 5.2 Analisis Perencanaan dan Kesetimbangan

Perencanaan IPAL di Perumahan Sukolilo Dian Regency direncanakan menggunakan *Subsurface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) dengan berbagai pertimbangan aspek teknis dan finansial. Beberapa kelebihan pengolahan air limbah domestik menggunakan *Subsurface Flow Constructed Wetland* (SSFCW) dibandingkan dengan unit lain seperti *Free Water Surface Constructed Wetland* (FWSCW) lain dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Perbandingan unit SSFCW dan FWSCW

SSFCW	FWSCW
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mudah dan murah dalam operasional</li> <li>- Jenis tanaman mudah diganti</li> <li>- Tidak menimbulkan bau dan sarang nyamuk karena tertutup media</li> <li>- Pengaliran air limbah di bawah media memberikan proteksi termal yang lebih baik terhadap fluktuasi suhu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak adanya media membuat fluktuasi termal pada air limbah menjadi tinggi</li> <li>- Berpotensi menimbulkan bau dan sarang nyamuk</li> <li>- Peletakan tanaman mudah berubah akibat aliran air</li> </ul>

Sumber: Wallace, 2006

Perbandingan di atas menunjukkan tipe *constructed wetland*, *Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)* lebih cocok diterapkan dalam perencanaan ini.

Pengolahan air limbah terjadi pada setiap unit bangunan dengan mekanisme yang berbeda-beda. Perhitungan penurunan parameter pencemar sebagai berikut:

- Bak ekualisasi

Bak ekualisasi juga difungsikan sebagai bak pengendap. Pada unit ini hanya terjadi penurunan parameter TSS, penurunan ini terjadi secara ekualisasi fisik gravitasi. Adapun perhitungan penurunan parameter TSS sebagai berikut:

- Efisiensi pengolahan TSS

$$R = \frac{t}{a + t}$$

Dimana:

R = efisiensi pengolahan (%)

T = waktu tinggal (jam)

a,b= koefisien empiris

Tabel 5. 5 Koefisien empiris

Parameter	a	b
BOD	0,018	0,02
TSS	0,0075	0,014

Sumber : Qasim, 2008

Ditentukan:  $t = 1$  jam

$$a = 0,0075$$

$$b = 0,014$$

$$\text{maka: } R = \frac{t}{a \cdot t}$$
$$= \frac{1}{0,0075 \cdot 1}$$

$$= 47 \%$$

$$\text{Penyisihan TSS} = 80 \text{ mg/l} - (47\% \times 80 \text{ mg/L})$$
$$= 42 \text{ mg/L}$$

- Unit SSFCW

Penentuan desain SSFCW menggunakan pendekatan rumus permodelan oleh Akrotos *et al.* (2008) dengan variabel efisiensi pengolahan dan temperatur air limbah. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

- Efisiensi pengolahan BOD

$$R_{\text{BOD}} = \frac{C_{\text{in}} - C_{\text{out}}}{C_{\text{in}}}$$

Dimana:  $R_{\text{BOD}}$  = Efisiensi pengolahan BOD

$C_{\text{in}}$  = Konsentrasi *influent* (mg/L)

$C_{\text{out}}$  = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

$$R_{\text{BOD}} = \frac{123 - 25}{123}$$
$$= 0,802$$
$$= 80 \%$$

$$\text{Effluent BOD} = 123 \text{ mg/L} - (80\% \times 123 \text{ mg/L})$$
$$= 25 \text{ mg/L}$$

- Waktu detensi pengolahan BOD

$$R_{\text{BOD}} = \frac{\text{HRT}}{\left(\frac{1}{T}\right) \text{HRT}}$$

Dimana:  $R_{\text{BOD}}$  = Efisiensi pengolahan BOD

HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)

T = Temperature (°C)

Ditentukan: T = 30°C

R<sub>BOD</sub> = 80%

HRT = (80% x HRT) + {(22,8/30) x 80 %}

HRT = 0,8HRT + 0,76

0,2HRT = 0,76

HRT = 2,98 hari

HRT ≈ 3 hari

- Efisiensi pengolahan COD

$$R_{\text{COD}} = \frac{C_{\text{in}} - C_{\text{out}}}{C_{\text{in}}}$$

Dimana: R<sub>COD</sub> = Efisiensi pengolahan COD

C<sub>in</sub> = Konsentrasi *influent* (mg/L)

C<sub>out</sub> = Konsentrasi *effluent* (mg/L)

$$R_{\text{COD}} = \frac{320 - 275}{320}$$
$$= 0,86$$

Effluent COD = 320 mg/L – (0,86 x 320 mg/L)  
= 45 mg/ L

- Waktu detensi pengolahan COD

$$R_{\text{COD}} = \frac{\text{HRT}}{(15/T) + \text{HRT}}$$

Dimana: HRT = *Hydraulic Residence Time* (hari)

T = Temperature (°C)

Ditentukan: T = 30°C

R<sub>BOD</sub> = 86%

HRT = (86% x HRT) + {(15/30) x 86 %}

HRT = 0,86HRT + 0,43

0,14HRT = 0,43

HRT = 3,07 hari

$$\text{HRT} \approx 3 \text{ hari}$$

- Evapotranspirasi  
Evapotranspirasi pada unit *SSFCW* terjadi akibat reaksi *photosynthesis* (Zhang *et al*, 2010), reaksi ini mengakibatkan berkurangnya kuantitas air akibat penyerapan oleh tanaman untuk reaksi tersebut. Adapaun perhitungan evapotranspirasi di *SSFCW* oleh tanaman *cattail sp* sebagai berikut:

$$Q_e = E \times A_s$$

Dimana:

$Q_e$  = debit akibat evapotranspirasi ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

$E$  = laju evapotranspirasi tanaman ( $\text{mm}/\text{hari}$ )

$A_s$  = luas permukaan tanaman ( $\text{m}^2$ )

Diketahui:  $E = 12 \text{ mm}/\text{hari}$

$$A_s = 1635 \text{ m}^2$$

Maka ;

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{\text{mm hari}}{\text{mm m}} \times 1635 \text{ m}^2 \\ &= 19,62 \text{ m}^3/\text{hari} \\ &\approx 20 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

- Presipitasi  
Presipitasi menyebabkan meningkatnya debit pada unit *SSFCW* sehingga perhitungan presipitasi berfungsi untuk menentukan volume tambahan unit *SSFCW* saat menerima beban dari presipitasi. Perhitungan presipitasi sebagai berikut:

$$Q_p = P \times A_s$$

Dimana:

$Q_p$  = debit akibat presipitasi ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )

$P$  = hujan harian maksimum ( $\text{mm}/\text{hari}$ )

$A_s$  = luas permukaan tanaman ( $\text{m}^2$ )

Diketahui:

$P = 80 \text{ mm}/\text{hari}$  (stasiun hujan keputih, Surabaya)

$$A_s = 1635 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_p &= \frac{\text{mm hari}}{\text{mm m}} \times 1635 \text{ m}^2 \\ &= 131 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$



Skema perhitungan *water balance* yang terdiri dari *water balance* saat presipitasi dan evapotranspirasi ditampilkan dalam Gambar 5.1 dan 5.2.



Gambar 5. 1 Skema presipitasi di unit SSFCW

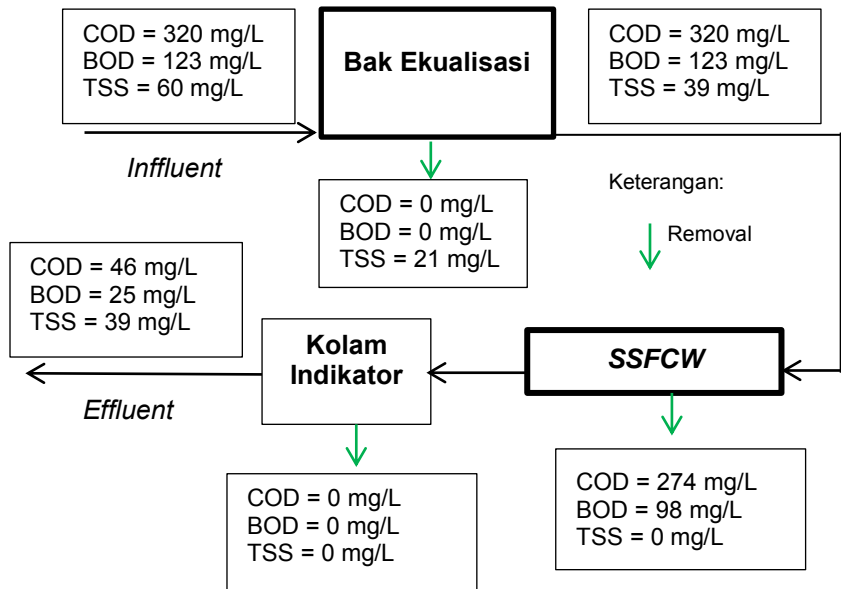


Gambar 5. 2 Skema evapotranspirasi di unit SSFCW

perhitungan *mass balance* polutan ditampilkan dalam Tabel 5.6 dan Gambar 5.3

Tabel 5. 6 mass balance masing-masing unit

Parameter		Unit Pengolah		
		Bak Ekualisasi	SSFCW	Kolam indikator
COD(mg/L)	Influent	320	320	46
	Removal	0%	86%	0%
	Effluent	320	46	46
BOD(mg/L)	Influent	123	123	25
	Removal	0	80%	0%
	Effluent	123	25	25
TSS(mg/L)	Influent	60	39	39
	Removal	34%	0%	0%
	Effluent	39	39	39



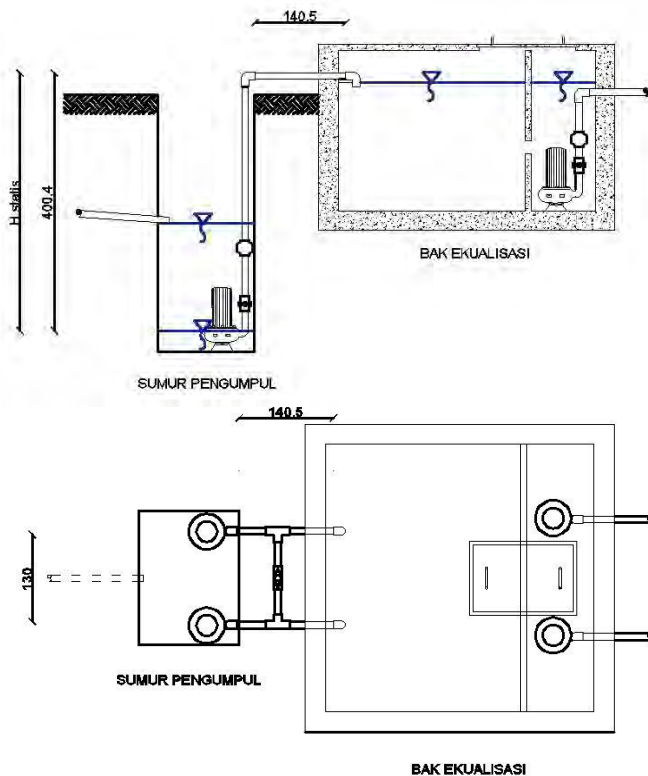
Gambar 5. 3 Mass balance IPAL

### 5.3 Perencanaan Unit-unit Pengolah Air Limbah

Perencanaan IPAL terdiri atas bak ekualisasi, bangunan *Subsurface Flow Constructed Wetland*, bak penampung akhir, dan sistem perpipaan.

#### 5.3.1 Perencanaan Pompa Pengumpan

Pompa pengumpan digunakan untuk menaikkan elevasi muka air dari manhole terakhir SPAL ke bak ekualisasi d sistem IPAL, sistem pemompaan dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 perencanaan pompa *feed*, potongan melintang (atas) dan denah (bawah)



### 5.3.2 Perencanaan Bak Ekualisasi

Bak ekualisasi difungsikan meratakan beban air limbah domestik dari perumahan dan sebagai bak pengendap TSS. Unit ini direncanakan berbentuk persegi panjang dan pengaliran dari bak ekualisasi ke unit berikutnya (SSFCW) dengan pemompaan agar beban air limbah merata. Adapun perhitungan bak ekualisasi menggunakan faktor pemakaian sebagai pembagian debit tiap jam dalam 1 hari, faktor pemakaian maks sebesar 1,5 dan faktor pemakaian terkecil 0,3. Perhitungan fluktuasi debit air limbah ditampilkan dalam Tabel 5.7.

Tabel 5. 7 Fluktuasi air limbah yang dihasilkan dalam satu hari

Periode Jam	Q (m <sup>3</sup> /jam)	Faktor pemakaian	Total Debit (m <sup>3</sup> )	Selisih (m <sup>3</sup> )
04.00 - 05.00	18,9	0,5	9,4	9,5
05.00 - 06.00		1,4	26,4	-7,5
06.00 - 07.00		1,6	30,2	-11,3
07.00 - 08.00		1,8	33,9	-15,1
08.00 - 09.00		1,0	18,9	0,0
09.00 - 10.00		0,8	15,3	3,6
10.00 - 11.00		0,8	15,3	3,6
11.00 - 12.00		1,1	20,4	-1,5
12.00 - 13.00		1,1	20,4	-1,5
13.00 -14.00		1,0	18,9	0,0
14.00 - 15.00		0,8	15,3	3,6
15.00 - 16.00		1,2	22,1	-3,2
16.00 - 17.00		1,6	30,2	-11,3
17.00 - 18.00		1,8	33,9	-15,1
18.00 - 19.00		1,8	33,9	-15,1
19.00 - 20.00		1,5	28,3	-9,4
20.00 - 21.00		1,2	22,1	-3,2
21.00 - 22.00		1,0	18,7	0,2

Lanjutan Tabel 5.7

Periode Jam	Q (m <sup>3</sup> /jam)	Faktor pemakaian	Total Debit (m <sup>3</sup> )	Selisih (m <sup>3</sup> )
22.00 - 23.00		0,8	15,3	3,6
23.00 - 00.00		0,5	9,4	9,5
00.00 - 01.00		0,3	5,7	13,2
01.00 - 02.00		0,1	1,9	17,0
02.00 - 03.00		0,1	1,9	17,0
03.00 - 04.00		0,3	5,7	13,2
Jumlah			453,1	

Dari tabel diatas diambil nilai tertinggi (17) dan terendah (-15,1). Nilai tertinggi merupakan volume maksimal perhari yang dihasilkan pada waktu tertentu. Nilai terendah merupakan volume yang tidak tertampung pada waktu tertentu. Maka perhitungan volume bak ekualisasi sebagai berikut:

Volume = nilai surplus maksimum – nilai defisit maksimum

$$= 17 - (-15,1)$$

$$= 32 \text{ m}^3$$

- Dimensi bak:

Ditetapkan kedalaman air = 2 , maka;

$$As = \frac{V}{H}$$

$$= \frac{32 \text{ m}^3}{2 \text{ m}}$$

$$= 16 \text{ m}^2$$

Direncanakan P : L = 1 : 1, maka;

$$L = \sqrt{s}$$

$$= \sqrt{16}$$

$$= 4 \text{ m}$$

$$P = L$$

$$= 4 \text{ m}$$

- Perhitungan *slope* pada unit bak ekualisasi  
Diketahui: n = 0,012 (koefisien beton)

$$\begin{aligned}
 \text{Maka: } A_c &= L \times H \\
 &= 4 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 8 \text{ m}^2 \\
 P &= 2H + L \\
 &= 2.2 \text{ m} + 4 \text{ m} \\
 &= 8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= \frac{Q}{c} \\
 &= \frac{3 \text{ m}^3 \text{ s}}{\text{m}} \\
 &= 0,0038 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \left[ \frac{nvP}{A^{2/3}} \right]^2 \\
 &= \left[ \frac{0,012 \cdot 0,0038 \cdot 8}{8^{2/3}} \right]^2 \\
 &= 8,3.
 \end{aligned}$$

Nilai slope sangat kecil maka dapat diabaikan

- Perencanaan pompa dari bak ekualisasi ke unit berikutnya menggunakan spesifikasi pompa yang sama dengan pompa *feed* karena nilai head statis yang lebih rendah dari sistem sebelumnya sehingga pompa dengan spesifikasi yang sama mampu untuk menyalurkan air ke unit berikutnya. Pompa dapat dilihat pada Gambar 5.4, dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Merek : HCP
- Tipe : F-31
- Daya : 750 Watt
- Debit maksimal : 300 L/min
- Total Head : 6,5 m (13 m max)

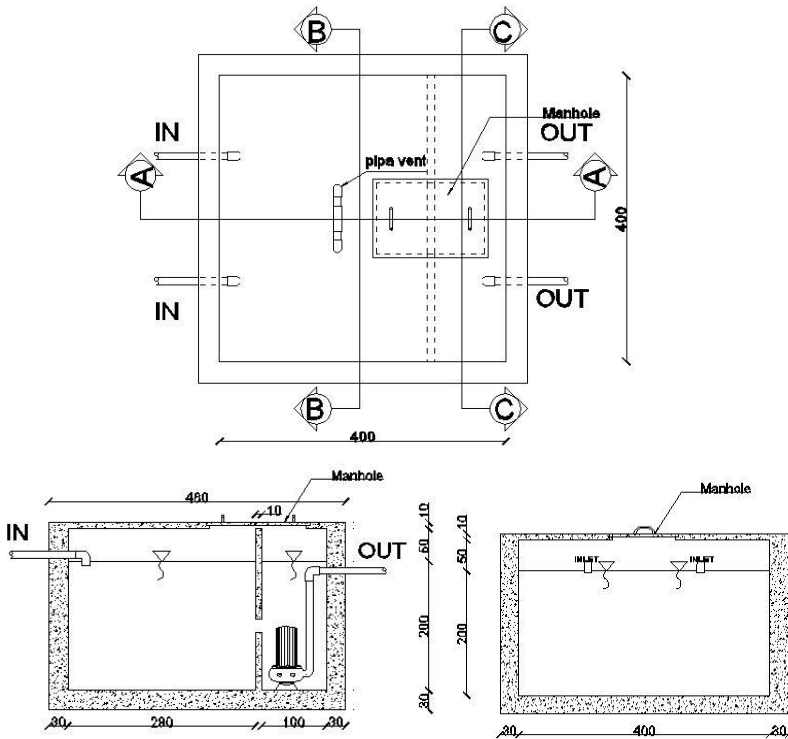
Pompa direncanakan sebanyak 2 unit dengan pengoperasian secara bergantian.

Diperoleh dimensi bak ekualisasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume efektif} &= 32 \text{ m}^3 \\
 \text{Luas efektif} &= 16 \text{ m}^2 \\
 \text{Kedalaman air} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Ruang bebas} &= 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Panjang efektif = 4 m  
 Lebar efektif = 4 m

Gambar unit bak ekualisasi dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5. 6 Denah bak ekualisasi (atas) dan potongan bak ekualisasi

### 5. 3.3 Perencanaan Unit *Subsurface Flow Constructed Wetland (SSFCW)*

Unit *Subsurface Flow Constructed Wetland*(SSFCW) direncanakan berbentuk persegi panjang dan terbagi atas beberapa kompartmen. Pembagian kompartmen bertujuan untuk



meratakan persebaran air dan memudahkan dalam perawatan unit SSFCW. Perhitungan dimensi unit SSFCW sebagai berikut :

- Direncanakan:- *Hydraulic Residence Time* (HRT)= 3 hari
- Volume efektif unit  $= \frac{\text{HRT} \times \text{debit harian}}{\text{porositas}}$   
 $= 3 \text{ hari} \times 453 \text{ m}^3/\text{hari}$   
 $= 1348 \text{ m}^3$
- Volume unit dengan media  
 Direncanakan: - Porositas media (*bioball*) = 80 %, maka:  
 Dimana:  $n = \text{Porositas (\%)}$   
 $V_p = \text{Volume poros (m}^3\text{)}$   
 $V = \text{Volume total media (m}^3\text{)}$

$$n = \frac{V_p}{V} \times 100 \%$$

$$V = \frac{3 \text{ m}^3}{0.8} \times 100 \%$$

$$V = 1685 \text{ m}^3$$

- Dimensi unit:  
 Ditetapkan: - kedalaman air = 1 m, maka;

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{V}{H} \\ &= \frac{1685 \text{ m}^3}{1 \text{ m}} \\ &= 1685 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Pengaliran di dalam unit akan dibagi menjadi sistem *baffle* untuk meratakan pengaliran air limbah di dalam unit SSFCW dengan perhitungan sebagai berikut:

- Direncanakan: - Jumlah kompartmen (n) : 8  
 - Lebar kompartmen total : 26 m  
 - Tebal tembok : 30 cm

Maka:

$$\begin{aligned} A_s \text{ kompartmen} &= \frac{A_s}{n} \\ &= \frac{1685 \text{ m}^2}{8} \\ &= 211 \text{ m}^2 \\ L \text{ kompartmen} &= \frac{A_s \text{ kompartmen}}{n} \\ &= \frac{211 \text{ m}^2}{8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,25 \text{ m} \\
 \text{P bangunan} &= \frac{s}{3} \\
 &= \frac{195 \text{ m}}{3} \\
 &= 65 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan *Headloss*

Penentuan headloss menggunakan rumus sebagai berikut (US EPA, 1993):

$$hf = \frac{Q^2 s}{h^3}$$

Dimana:

$hf$  = headloss (m)

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$As$  = Permukaan *constructed wetland* ( $\text{m}^2$ )

$K$  = konduktifitas hidrolik (m/d)

$W$  = lebar *constructed wetland* (m)

$h$  = kedalaman muka air (m)

Diketahui :

$Q = 453 \text{ m}^3/\text{s}$

$As = 1685 \text{ m}^2$

$K = 150000 \text{ m/d}$

$W = 3,25 \text{ m}$

$D_w = 1 \text{ m}$

Maka :

$$\begin{aligned}
 hf &= \frac{453^2 \cdot 1685}{150000^3} \\
 &= 0,49 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Check:

$$\begin{aligned}
 \text{HLR} &= \frac{Q}{s} \\
 &= \frac{3 \text{ m}^3 \text{ hari}}{\text{m}} \\
 &= 0,33 \text{ m/hari}
 \end{aligned}$$

Standar HLR 0,1 – 0,5 m/hari (Stefanakis dan Tsihrintzis, 2012)

- Perhitungan kebutuhan tanaman *cattail sp*



- Perhitungan kebutuhan media *gravel*  
Media *gravel* digunakan sebagai penyangga atas muka air sehingga tanaman tidak mudah goyang dan muka air limbah tertutup oleh media tersebut. Perhitungan kebutuhan media *gravel* sebagai berikut:

Diketahui:

- Tinggi media *gravel* = 0,5 m
- Luas media *gravel* = 1685 m<sup>2</sup>

maka:

$$\begin{aligned}\text{volume } \textit{gravel} &= \text{Luas media } \textit{gravel} \times \text{Tinggi media } \textit{gravel} \\ &= 1685 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m} \\ &= 843 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh dimensi SSFCW sebagai berikut:

P kompartmen efektif	: 520 m
L kompartmen efektif	: 3,25 m
P bangunan efektif	: 65 m
L bangunan efektif	: 26 m
Kedalaman air	: 1 m
<i>Freeboard</i>	: 0,5 m



Gambar 5. 8 media *gravel*

Sumber: US EPA



### 5. 3.4 Perencanaan Unit Kolam Indikator

Unit bak penampung digunakan untuk menampung air olahan dari *SSFCW* sebelum dibuang ke badan air. Unit ini juga berfungsi sebagai kolam indikator hasil pengolahan *SSFCW* sehingga pada unit ini diberi bio-indikator berupa ikan sebagai monitoring kualitas air *effluent*. Perhitungan dimensi unit bak penampung akhir sebagai berikut:

- Direncanakan waktu detensi = 0,01 hari
- Volume efektif unit = waktu detensi x debit harian  

$$= 0,01 \text{ hari} \times 453 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 5,7 \text{ m}^3$$
- Luas efektif unit =  $\frac{\text{volume}}{\text{kedalaman}}$  ; ditetapkan kedalaman = 1,5m  

$$= \frac{5,7 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}}$$

$$= 3,8 \text{ m}^2$$
- Direncanakan P = 2 m, maka:

$$L = \frac{S}{P}$$

$$= \sqrt{\frac{3}{1}}$$

$$= 1,9 \text{ m}$$

$$\approx 2 \text{ m}$$

- perhitungan *slope* pada unit kolam indikator

Diketahui:  $n = 0,012$

Maka:  $Ac = L \times H$

$$= 1 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$$

$$= 1,5 \text{ m}^2$$

$$P = 2H + L$$

$$= 2 \cdot 1,5 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

$$= 4 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{c}$$

$$= \frac{\text{m}^3 \text{ s}}{1,5 \text{ m}}$$

$$= 0,002 \text{ m/s}$$

$$S = \left[ \frac{nvP}{3} \right]$$

$$= \left[ \frac{\quad}{3} \right]$$

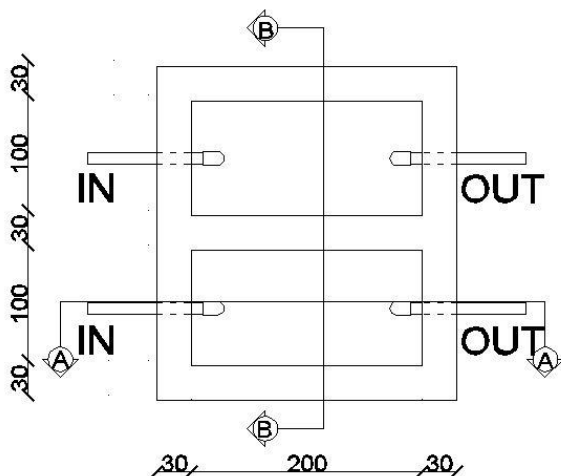
$$= 1,2 \text{ m}$$

Nilai slope sangat kecil maka dapat diabaikan

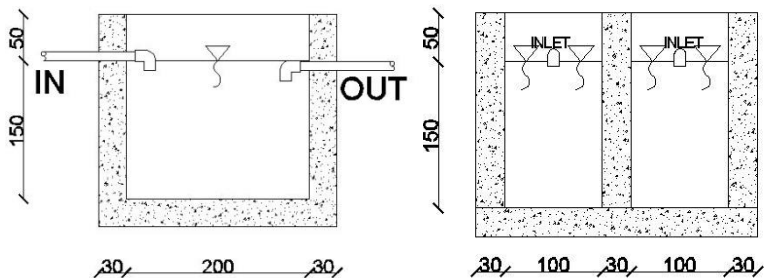
Diperoleh dimensi unit kolam indikator sebagai berikut:

Volume efektif = 5,7 m<sup>3</sup>  
 Luas Efektif = 3,8 m<sup>2</sup>  
 Kedalaman air = 1,5 m  
 Jumlah unit = 2 unit  
 Panjang tiap unit = 2 m  
 Lebar tiap unit = 1 m  
 Ketebalan tembok = 0,3 m  
 Freeboard = 0,5 m

Gambar unit kolam indikator dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan 5.11.



Gambar 5. 10 Denah kolam indikator



Gambar 5. 11 Potongan kolam indikator

### 5. 3.5 Perencanaan Sistem Pengaliran dan Profil Hidrolis

Sistem pengaliran antar unit menggunakan sistem saluran tertutup berupa pipa. Penentuan dimensi pipa ditentukan berdasarkan nilai *headloss* serendah mungkin namun dengan diameter pipa yang tidak terlalu besar, supaya tidak diperlukan nilai *slope* yang tinggi pada pipa dan mendapatkan pipa dengan harga seefisien mungkin. Adapun perhitungan kerugian tekan sebagai berikut:

- Perhitungan *headloss* mayor(pipa) penghubung antar unit menggunakan rumus *Hazen-William*:

$$hf = \left[ \frac{Q}{0,2785CD^{2,63}} \right]^{1,85} L$$

Dimana:  $hf$  = *headloss* (m)

$Q$  = debit ( $m^3/s$ )

$C$  = koefisien kekasaran

$L$  = panjang pipa (m)

- Contoh perhitungan *headloss* mayor pada segmen A1

Diketahui:  $Q = 0,0052 m^3/s$

$C = 130$

$D = 0,1 m$

$L = 1 m$

$$\begin{aligned} \text{Maka: } hf &= \left[ \frac{0,005}{0,2785 \cdot 130 \cdot 0,075^{2,63}} \right]^{1,85} 4,1 \\ &= 0,096 m \end{aligned}$$



Dari seluruh perhitungan *headloss* mayor diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 5. 8 *headloss* mayor pada setiap segmen

Segmen	Q	L (m)	C	D (m)	hf
A1	0,005	4,1	130	0,075	0,09611
A2	0,005	1,66	130	0,075	0,03891
A3	0,005	1,31	130	0,075	0,03071

- Perhitungan *headloss* minor (aksesoris) penghubung antar unit

$$hf = n \left[ \frac{kv}{g} \right]$$

Dimana:

n = jumlah aksesoris

hf = headloss (m)

K = jumlah aksesoris

V = kecepatan di dalam aksesoris (m/s)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

- Contoh perhitungan headloss minor pada segmen A1

Diketahui aksesoris sebagai berikut:

1. Tee ( k = 0,9 ; n = 1 ; v = 0,7 )

$$hf = \left[ \frac{0,9 \cdot 0,7}{.} \right]$$

$$= 0,02 \text{ m}$$

2. Elbow ( k = 1,5 ; n = 2 ; v = 0,7 )

$$hf = 2 \left[ \frac{1,5 \cdot 0,7}{.} \right]$$

$$= 0,07 \text{ m}$$

3. Check valve ( k = 2 ; n = 1 ; v = 0,7 )

$$hf = \left[ \frac{.0,7}{.} \right]$$

$$= 0,05 \text{ m}$$

4. Flange ( k = 0,9 ; n = 4 ; v = 0,7 )

$$hf = 4 \left[ \frac{0,9}{\quad} \right]$$

$$= 0,08 \text{ m}$$

$$hf \text{ minor total} = hf \text{ tee} + hf \text{ elbow} + hf \text{ check valve} + hf \text{ flange}$$

$$= 0,02 \text{ m} + 0,07 \text{ m} + 0,05 \text{ m} + 0,08$$

$$= 0,65 \text{ m}$$

Dengan cara yang sama didapat nilai *headloss* minor untuk seluruh segmen pada tabel 5.9

Tabel 5. 9 *headloss* minor setiap segmen

Segemen	Aksesoris	n	k	v	hf
A1	Tee	1	0,9	1,2	0,06
	Elbow	2	1,5	1,2	0,22
	Check valve	2	2	1,2	0,29
	Flange	4	0,9	0,7	0,08
	Total				0,65
A2	Elbow	4	1,5	0,7	0,15
	tee	2	0,9	0,7	0,04
	Flange	4	0,9	0,7	0,09
	Check valve	2	2	0,7	0,10
	Total				0,38
A3	Elbow	2	1,5	0,7	0,07
	Tee	1	0,9	0,7	0,02
	Ball valve	1	2	0,7	0,05
	Total				0,15

Dari perhitungan *headloss* mayor dan minor diperoleh *headloss* total pada setiap segmen, dapat dilihat pada tabel 5.10.

Tabel 5. 10 *headloss* total setiap segmen

Segmen	<i>hf</i> mayor	<i>hf</i> minor	<i>hf</i> total
A1	0,10	0,65	0,74
A2	0,04	0,38	0,42
A3	0,03	0,15	0,18

Visualisasi profil hidrolis ditampilkan di dalam Lampiran Gambar nomor 8.

## 5.4 Operasional dan Perawatan IPAL

Pengoperasian dan perawatan IPAL memerlukan operator sebanyak 2-3 orang. Operator bertugas untuk memastikan kinerja harian IPAL dalam kondisi baik dan melakukan perawatan berkala.

### 5.4.1 Pengoperasian Awal IPAL

Saat awal pengoperasian IPAL diperlukan *start up* untuk media tanaman maupun tanaman itu sendiri hingga keduanya mencapai tahap *steady state* atau stabil untuk beroperasi secara reguler. Berikut tahapan dalam pengoperasian awal sistem SSFCW yang berupa penanaman awal vegetasi:

1. Pembibitan awal tanaman *cattail sp* dari benih dilakukan di dalam *greenhouse* hingga tanaman siap pindah media ke luar. Penanaman di dalam *greenhouse* bertujuan agar menjaga stabilitas suhu dan menghindari tanaman dari kotoran maupun penyakit yang mungkin timbul.
2. Siapkan media tanam seperti kompos, *cocopeat* atau media tanam lain di dalam suatu wadah dan basahi media secara merata hingga seluruh media menjadi lembab
3. Sebarkan benih pada media tanam secara merata dengan jarak penanaman antar benih  $\pm 5$  cm dengan kedalaman penanaman  $\pm 1$  cm.
4. Selama masa pembibitan jaga kondisi media agar tetap lembab dan terkena sinar matahari dengan intensitas kecil.





#### 5.4.2 Pengoperasian Rutin IPAL

Pengoperasian IPAL tidak memerlukan ketentuan khusus, hanya saja perlu diawasi untuk mengantisipasi adanya kesalahan yang mungkin terjadi. Beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya:

1. Sistem pengaliran dari sumur pengumpul ke bak ekualisasi dan dari bak ekualisasi ke SSFCW menggunakan pemompaan. Setiap unit terdiri dari 2 pompa yang dioperasikan secara bergantian, pastikan setiap pompa beroperasi maksimal selama 12 jam/hari.
2. Pastikan air tidak melebihi batas di sumur pengumpul dan bak ekualisasi, Jika air melebihi batas di masing-masing unit periksa kondisi pompa kemungkinan ada gangguan di sistem kelistrikan ataupun terjadi mampat di pompa akibat kotoran. Saat mengecek pompa pastikan pompa tidak sedang terhubung ke sumber listrik.
3. Jika terjadi gangguan pompa akibat mampat, maka bersihkan *propeller pompa* dan pastikan *propeller* masih dalam keadaan baik. Jika gangguan akibat kelistrikan segera servis pompa ke *dealer* resmi.
4. Cek kondisi muka air di *inlet* dan *outlet* unit SSFCW tidak melebihi batas yang ditentukan. Jika air melebihi batas segera cek unit SSFCW kemungkinan ada penyumbatan pada media *bioball*.

#### 5.4.3 Perawatan Rutin IPAL

Perawatan IPAL secara rutin meliputi:

1. Pengecekan masing-masing pompa dilakukan setiap 1 bulan sekali.
2. Pengecekan kualitas air limbah setiap 1 bulan sekali. Pengecekan dilakukan dengan melakukan *sampling* di kolam indikator dan dilakukan analisa laboratorium untuk memastikan *effluent* dari IPAL memenuhi baku mutu.
3. Tanaman *cattail sp* perlu dipangkas setiap 100 – 120 hari sekali, pemangkasan ditandai jika sudah muncul tunas baru dari tanaman induk yang akan dipangkas. Tanaman induk bisa dipangkas menggunakan pemotong rumput seperti pada gambar 5.15.



## BAB VI

### Volume Pekerjaan dan Rencana Anggaran Biaya

#### 6.1 Volume Pekerjaan

Perhitungan volume pekerjaan diperoleh dari gambar desain unit di sistem SSFCW. Nilai volume pekerjaan berupa volume atau luas dapat langsung diperoleh dari *software Autocad*. Perhitungan volume pekerjaan meliputi galian tanah, urugan pasir, kebutuhan beton, kebutuhan media SSFCW, kebutuhan batu bata plester, dan aksesoris pelengkap sistem.

```
Command: MEASUREGEOM
Enter an option [Distance/Radius/Angle/Area/Volume] <Distance>: v
Specify first corner point or [Object/Add volume/Subtract volume/eXit] <Object>:
Select objects:
Volume = 3.5417E+12
Enter an option [Distance/Radius/Angle/Area/Volume/eXit] <Volume>: *Cancel*
```

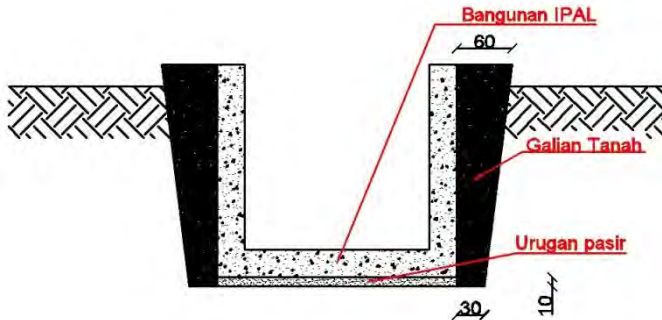
Gambar 6. 1 Tampilan perhitungan dengan Autocad

- a. Volume pekerjaan penggalian tanah
- Penggalian tanah dilakukan saat konstruksi sesuai dengan volume bangunan setiap unit dan berbentuk trapesium pada ujung galian. Perhitungan galian tanah dapat dilihat pada Tabel 6.1, sedangkan visualisasi galian tipikal dapat dilihat pada Gambar 6.2.

Tabel 6. 1 volume pekerjaan penggalian tanah

Bangunan	Volume (m <sup>3</sup> )
Bak ekualisasi	85,4
SSFCW	3600
Kolam indikator	28,8





Gambar 6. 2 Tipikal Galian

- b. Volume pekerjaan plat lantai  
Volume pekerjaan plat lantai digunakan dibawah lantai kerja setiap unit bangunan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.2.

Tabel 6. 2 volume pekerjaan plat lantai

Bangunan	Volume plat (m <sup>3</sup> )
Bak ekualisasi	6,3
SSFCW	560
kolam indikator	2,2

- c. Volume pekerjaan dinding beton  
Volume pekerjaan beton digunakan untuk lantai masing – masing unit SSFCW dan tutup atas unit tertentu. Penggunaan beton bertujuan agar bangunan mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban permukaan. Beton yang digunakan adalah beton tipe K-175, perhitungan kebutuhan beton masing-masing unit ditampilkan pada Tabel 6.3.

Tabel 6. 3 volume pekerjaan dinding beton setiap unit

Bangunan	Volume (m <sup>3</sup> )
Bak ekualisasi	13,9
SSFCW	280
kolam indikator	7,2

- d. Volume pekerjaan plat atas beton  
Volume pekerjaan plat beton hanya pada unit bak ekualisasi karena hanya unit ini yang tertutup pada bagian atasnya. Dari hasil perhitungan diperoleh hasil perhitungan volume plat atas beton sebesar 2 m<sup>3</sup>.
- e. Volume pekerjaan pengurugan tanah kembali  
Pengurugan tanah kembali merupakan sisa tanah hasil pengurugan tanah awal yg tidak digunakan untuk bangunan dengan rumus sebagai berikut:  
Volume urugan tanah = volume galian – volume unit terbangun  
Hasil perhtiungan seluruhnya dapt dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6. 4 Volume pekerjaan pengurugan tanah kemabali

Bangunan	Volume (m <sup>3</sup> )
Bak ekualisasi	23,4
SSFCW	100
kolam indikator	11,4

- f. Volume pekerjaan aksesoris pelengkap  
Volume pekerjaan aksesoris pelengkap sistem dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6. 5 volume pekrjaan aksesoris pelengkap

Barang	jumlah	satuan	Merek	sumber
Pipa 3"	5	batang(4 m)	Rucika	wavin.co.id
tee 3"	6	unit	Rucika	wavin.co.id

Lanjutan Tabel 6.5

Barang	jumlah	satuan	Merek	sumber
elbow 3"	10	unit	Rucika	wavin.co.id
check valve 3"	4	unit	n/a	pusattoko.com
Flange 3"	8	unit	Rucika	wavin.co.id
Ball valve 3"	2	unit	n/a	pusattoko.com
pompa submersible	4	unit	HCP	sentralpompa.com
Bioball	84251	kg	n/a	Tokopedia.com
Benih <i>Cattail sp</i>	2	kg	n/a	Tokopedia.com
<i>Gravel</i>	843	m <sup>3</sup>	n/a	HSPK 2015

## 6.2 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana anggaran biaya (RAB) merupakan hasil perkalian volume pekerjaan. Pekerjaan konstruksi bangunan mengacu pada Harga Satuan Pekerjaan (HSPK) Kota Surabaya tahun 2015, RAB konstruksi dapat dilihat pada tabel 6.6. Sedangkan RAB komponen penunjang IPAL diperoleh dari *vendor* masing-masing merek barang, RAB komponen penunjang IPAL dapat dilihat pada Tabel 6.7.

Tabel 6. 6 RAB konstruksi IPAL

NO	Tahapan Konstruksi	Volume	Satuan	Nilai HSPK (Rp)	Total Biaya (Rp)
<b>Tahap Persiapan</b>					
1	Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan	2000	m <sup>2</sup>	7.950	15.900.000
3	Pekerjaan Pembuatan Bouwplank/Titik	10	Titik	102.99	1.025.040
4	Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank	198	m1	96.450	19.085.220
<b>JUMLAH</b>					<b>36.010.260</b>
<b>Pekerjaan Utama</b>					
1	Penggalian tanah dengan alat berat	3615	m <sup>3</sup>	36.500	131.947.500
2	Pengangkutan Tanah dari Lubang Galian	47,32	m <sup>3</sup>	26.250	745.290

Lanjutan Tabel 6.6

NO	Tahapan Konstruksi	Volume	Satuan	Nilai HSPK (Rp)	Total Biaya (Rp)
	Dalamnya Lebih Dari 1meter				
3	Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150 Kg + Bekisting)	282	m <sup>3</sup>	6.004.449	1.693.254.618
4	Pekerjaan Plat Lantai	561	m <sup>3</sup>	3.057.799	1.715.425.323
5	Pekerjaan Plat Tutup Beton	2	m <sup>3</sup>	3.057.799	6.115.598
<b>JUMLAH</b>					<b>3.547.488.691</b>
<b>Pekerjaan Finishing</b>					
1	Pengurugan Tanah Kembali	135	m <sup>3</sup>	12.378	1.671.030
<b>JUMLAH</b>					<b>1.671.030</b>
<b>TOTAL</b>					<b>3.585.169.981</b>

Tabel 6. 7 RAB komponen penunjang IPAL

Barang	jumlah	satuan	Harga satuan	Harga
Pipa 3"	5	batang(4 m)	Rp300.000	Rp1.500.000
tee 3"	6	unit	Rp38.600	Rp231.600
elbow 3"	10	unit	Rp32.000	Rp320.000
check valve 3"	4	unit	Rp1.255.750	Rp5.023.000
Flange 3"	8	unit	Rp36.400	Rp291.200
Ball valve 3"	2	unit	Rp230.000	Rp460.000
pompa submersible	4	unit	Rp3.467.000	Rp13.868.000
Bioball	84251000	gram	Rp2.00(@8 gr)	Rp2.106.275.000
Benih <i>Cattail sp</i>	2	kg	Rp172.000	Rp344.000
Gravel	843	m <sup>3</sup>	Rp253.000.00	Rp213.279.000
Total				<b>Rp2.341.247.800</b>

Hasil dari seluruh perhitungan RAB konstruksi dan penunjang komponen IPAL diperoleh RAB total sistem SSFCW dengan rincian perhitungan sebagai berikut:

- RAB konstruksi = Rp 3.547.488.691
  - RAB komponen penunjang IPAL = Rp 2.341.247.800
- RAB total = RAB konstruksi + RAB komponen penunjang IPAL  
= Rp 3.585.169.981 + Rp 2.341.247.800  
= **Rp 5.926.417.781**

Maka diperoleh nilai investasi awal IPAL secara keseluruhan senilai **Rp 5.926.417.781**

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari tugas akhir dengan judul “Desain IPAL Komunal Limbah Domestik Perumahan Sukolilo Dian Regency Dengan Teknologi *Constructed Wetland*” sebagai berikut:

1. Perencanaan IPAL di Perumahan Sukolilo Dian Regency memerlukan lahan total sekitar 1800 m<sup>2</sup>, terdiri atas bak ekualisasi (21 m<sup>2</sup>), SSFCW (1685 m<sup>2</sup>), dan kolam indikator (4 m<sup>2</sup>)
2. IPAL SSFCW memiliki efisiensi untuk mengolah COD, BOD, dan TSS masing sebesar 85%, 80%, dan 46%. Dengan efisiensi *effluent* dari IPAL SSFCW sudah memenuhi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 tahun 2013.
3. Perencanaan IPAL di Perumahan Sukolilo Dian Regency memerlukan biaya total sebesar **Rp 5.926.417.781** dengan rincian biaya konstruksi sebesar Rp 3.585.169.981 dan biaya untuk komponen penunjang IPAL sebesar Rp 2.341.247.800.
4. Dihasilkan panduan operasional dan perawatan IPAL SSFCW mulai dari operasional awal, operasional rutin, dan perawatan berkala.

#### **7.2 Saran**

Saran untuk pengembangan dari perencanaan ini sebagai berikut:

1. Perlu adanya perencanaan sistem penyaluran *greywater* dari setiap rumah menuju ke sistem IPAL.
2. Perlu adanya inovasi dalam pengembangan desain *constructed wetland* agar bisa memperoleh desain yang lebih efisien lahan namun tetap dengan performa yang baik.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk media *constructed wetland* yang memiliki nilai porositas yang tinggi, supaya dalam desain *constructed wetland* bisa bekerja lebih efektif karena luas permukaan media yang lebih luas dan lebih menghemat volume kolam.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## DAFTAR PUSTAKA

- Akratos Chritos S., Papaspyros John N.E., Tsihrintzis Vassilios A. 2008. "An artificial neural network model and design equations for BOD and COD removal prediction in horizontal subsurface flow constructed wetlands". **Chemical Engineering Journal** **143**. Page 96–110
- Abramian Lara dan El-Rassy Houssam. 2009. "Adsorption Kinetics and Thermodynamics Of Azo-Dye Orange II Onto Highly Porous Titania Aerogel". **Chemical Engineering Journal** Vol. 150. Page 403 - 410
- Anonim. 2001 . **Guide Extensive Wastewater Treatment Processes Addapted to smaall and Medium Communities**. European Commission
- Anonim. 2011. **Pedoman Teknis Instalasi Pengolahan Air Limbah. Direktorat Bina Pelayanan Penunjang Medik Dan Sarana Kesehatan**. Jakarta
- Reed Sherwood C.. 1993. "Subsurface Flow Constructed Wetlands For WasteWater Treatment". US EPA
- Karathanasis A. D., Potter C. L., Coyne S. M. 2003. "Vegetation Effects On Fecal Bacteria, BOD, and Suspended Solid Removal In Constructed Wetlands Treating Domestic Wastewater". **Ecological Engineering** Vol. 20. Page 157 – 169.
- Kallimani S. Kavya dan Vrupakshi S. Arjun. 2015. "Comparison Study On Treatment Of Campus Wastewater By Constructed Wetlands Using Canna Indica & Phragmites Austrails Plants". **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)** Vol. 02. Page 47
- Liolios A. Konstantinos, Moutsopoulos N. Konstantinos, Tsihrintzis A. Vassilios. 2012. "Modeling of flow and BOD fate in horizontal subsurface flow constructed wetlands". **Chemical Engineering Journal** vol. 200–202. Page: 681–693
- Metcalf & Eddy. 2014. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Volume 2**. McGraw-Hill Education.
- Miller Jason. 2007. **Constructed Wetlands Technology Assessment and Design Guidance**. IOWA Department of Natural Resources

- Nurhidayat Alfi, Hermana Joni. 2009. **Strategi Pengelolaan Air Limbah Domestik Dengan Sistem Sanitasi Skala Lingkungan Berbasis Masyarakat Di Kota Batu Jawa Timur**. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi X Program Studi MMT-ITS, Surabaya.
- Peraturan Gubernur Jatim Nomor 72 Tahun 2013. 2013. **Baku Mutu Air Limbah Domestik Jawa Timur**
- Polprasert, C.1989. **Organic Waste Recycling**. John Wiley & Son, Chichester, Inggris
- Rai U.N., Tripathi R.D., Singh N.K., Upadhyay A.K., Dwivedi S., Shukla M.K., Mallick S., Singh S.N., Nautiyal C.S. 2013. "on structured wetland as an ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river" **Bioresource Technology** 148. Page 535 – 541
- Reynolds, T.D. 1982. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. Boston: B/C Engineering Division.
- Risnawati dan Damanhuri. 2009. Penyisihan Logam Pada Lindi Menggunakan Constructed Wetland. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Said N I "Pengolahan Air Limbah dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob". **Jurnal Teknologi Lingkungan** Vol.1. Jakarta.
- Sasse, L., Gutterer, B., Panzerbieter., dan Reckerzugel, T. 2009. **Decentralised Wastewater Treatment System (DEWATS) and sanitattion in Developing Countries**. BORDA
- Soedjono E.S., Wibowo Teguh, Saraswati S.S., Keetelaar Cees. 2010. **Buku Referensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi**. Tim Teknis Pembangunan Sanitasi.
- Stevens Michelle. 2006. **Narrowleaf Cattail Typha angustifolia L. Plant Symbol = TYAN**. USDA, NRCS, National Plant Data Center c/o Department of Plant Sciences, University of California, Davis ; California
- Tsihrintzis Vassilios A. dan Stefankis Alexandros I.. 2012. "Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands". **Chemical Engineering Journal** 181– 182. Page 416– 430

- Toscano, Attilio.2009. "Modelling Pollutant Removal In A Pilot-Scale Two-Stage Subsurface Flow Constructed Wetlands". **Ecological Engineering**. Vol 35. Page: 281-289
- Wallace, Scolt D P.E. 2006. **Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems Feasibility, Design Criteria, And O&M Requirements**.Water Environment Research Foundation.USA.
- Wibisono Gunawan, Suswati. 2013. "Pengolahan Limbah Domestik Dengan Teknologi Taman Tanaman Air (*Constructed Wetlands*)". **Indonesian Green Technology Journal**.Vol. 2
- Yudo Satmoko. 2010. "Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung Di Wilayah DKI Jakarta Ditinjau Dari Parameter Organik,Amoniak,Fosfat,Deterjen, Dan Bakteri Coli". **Jurnal Air Indonesia**. Vol.6. Page 34 – 40
- Zhang B.Y., Zheng J.S., dan Sharp R.G. 2010. "Phytoremediation in Engineered Wetlands: Mechanisms and Applications". **Procedia Environmental Sciences** 2. Page 1315–1325.
- Qasim Syed R.. 1998. **Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operation**. Florida: CRC Press LLC.

## **LAMPIRAN A**

### **PROSEDUR ANALISIS LABORATORIUM**

#### **1. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)**

Alat dan Bahan

1. Larutan kalium dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) 0,1 N
2. Kristal perak sulfat ( $Ag_2SO_4$ ) dicampur dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ )
3. Kristal merkuri sulfat ( $Hg_2SO_4$ )
4. Larutan standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
5. Larutan indikator Fenantrolin Fero Sulfat (Feroin)
6. Erlenmeyer 250 mL 2 buah
7. Buret 25 mL atau 50 mL 1 buah
8. Alat refluks dan pemanasnya
9. Pipet 5 mL, 10 mL
10. Pipet tetes 1 buah
11. Beker glass 50 mL, 1 buah
12. Gelas ukur 25 mL, 1 buah

Prosedur Analisis:

1. Masukkan 0,4 gram kristal  $Hg_2SO_4$  ke dalam masing-masing erlenmeyer.
2. Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air akuades (sebagai blangko) ke dalam masing-masing erlenmeyer.
3. Tambahkan 10 mL larutan  $K_2Cr_2O_7$  N.
4. Tambahkan 25 mL larutan campuran  $Ag_2SO_4$ .
5. Alirkan pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
6. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
7. Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air akuades melalui kondensor sampai volume 150 mL.
8. Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
9. Tambahkan 3-4 tetes indikator Feroin.
10. Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standart FAS 0,05 N hingga warna menjadi merah coklat.
11. Hitung COD sampel dengan rumus:

$$\text{COD (mg O}_2\text{/L)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{Vol sampel}} \times p$$

Keterangan:

A : mL FAS titrasi blanko

B : mL FAS titrasi sampel

N : normalitas larutan FAS

P : pengenceran

## 2. Analisis BOD (*Biological Oxygen Demand*)

Alat dan Bahan

1. 1 buah labu ukur berukuran 500 mL
2. 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL
3. 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL
4. Inkubator suhu 20°C

Prosedur Analisis:

1. Sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran dituangkan ke dalam labu ukur kemudian ditambahkan air pengencer hingga tanda batas.
2. Sampel yang telah diencerkan dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati – hati.
3. Air pengencer dituangkan kedalam 1 botol winkler 300 mL dan 1 botol winler 150 mL hingga tumpah kemudian ditutup dengan hati- hati.
4. Larutan dalam botol winkler 300 mL dimasukkan ke dalam inkubator 20 °C selama 5 hari.
5. Perhitungan nilai BOD dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$BOD_5^{20} \text{ (mg/L)} = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{\text{mL sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Keterangan:

$X_0$  : DO sampel pada  $t = 0$   
 $X_5$  : DO sampel pada  $t = 5$   
 $B_0$  : DO blanko pada  $t = 0$   
 $B_5$  : DO blanko pada  $t = 5$   
 $P$  : derajat pengenceran

### 3. Analisis TSS (*Total Suspended Solids*)

#### Alat dan Bahan

1. Larutan sampel yang akan dianalisis
2. Furnace dengan suhu  $^{\circ}$
3. Oven dengan suhu  $^{\circ}$
4. Cawan porselin 50 ml
5. Timbangan analitis
6. Desikator
7. Cawan petridis
8. Kertas saring
9. Vacuum filter

#### Prosedur Analisis:

1. aw an porselin di akar dengan suhu  $^{\circ}$  selama jam, setelah itu dimasukkan ke dalam oven  $^{\circ}$  selama 15 jam.
2. Masukkan kertas saring ke oven  $^{\circ}$  se lama jam
3. Cawan dan kertas saring diatas didinginkan dalam desikator selama 15 menit
4. Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg)
5. Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacuum filter
6. Tuangkan 25 ml sampel diatas filter yang telah dipasang pada vacuum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya, catat volume sampel (g ml)
7. Saring sampel sampai kering atau airnya habis
8. Letakkan kertas saring pada cawan Petridis dan masukkan ke dalam oven  $^{\circ}$  se lama jam
9. Dinginkan didalam desikator selama 15 menit
10. Timbang dengan timbangan analitis (f mg)
11. Hitung jumlah TSS dengan rumus berikut:  

$$TSS (mg/L) = ((f-e)/g) \times 1000 \times 100$$

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

**LAMPIRAN B**  
**HASIL SURVEY DAN DATA PENDUKUNG**

Tabel B. 1 Pemakaian air PDAM bulan Januari

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-31 januari 2016)		
				Pemakaian Total(m <sup>3</sup> )	Pemakaian rata-rata (m <sup>3</sup> /org.hari)	Debit air limbah
1	2231025	Sejahtera 1, 52	2	6	0,10	0,08
2	2230945	Bahagia 1, 67	4	22	0,18	0,15
3	2230941	Bahagia 1, 59	5	29	0,19	0,15
4	2230936	Bahagia 2, 78	4	20	0,17	0,13
5	2230935	Bahagia 2, 68	2	10	0,17	0,13
6	2231004	Bahagia 2, 61	2	11	0,18	0,15
7	2231003	Bahagia 2, 55	4	20	0,17	0,13
8	2230930	Bahagia 2, 48	2	10	0,17	0,13
9	2230932	Bahagia 2, 50	2	10	0,17	0,13
10	2231007	Kasih 9	10	46	0,15	0,12
11	2231006	Kasih 7	2	7	0,12	0,09
12	2231023	Sejahtera 1, 60	1	4	0,13	0,11



No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-31 januari 2016)		
				Pemakaian Total(m <sup>3</sup> /)	Pemakaian rata-rata (m <sup>3</sup> /org.bari)	Debit air limbah
13	2231022	Bahagia 2, 45	4	25	0,21	0,17
14	2230991	Sejahtera 1, 26	3	12	0,13	0,11
15	2230996	Sejahtera 1, 38	2	9	0,15	0,12
16	2230997	Sejahtera 1, 40	1	6	0,20	0,16
17	2231051	Bahagia 2, 43	1	5	0,17	0,13
18	2222178	Makmur 1, 2	4	14	0,12	0,09
19	2222177	makmur 1, 1	2	9	0,15	0,12
20	2222183	makmur 5, 15	4	20	0,17	0,13
21	2222185	makmur 5, 21	4	22	0,18	0,15
22	2222184	makmur 5, 17	2	10	0,17	0,13
23	2222186	makmur 5, 38	4	14	0,12	0,09
24	2222192	makmur 5, 6	4	12	0,10	0,08
25	2222196	makmur 5, 16	2	10	0,17	0,13
26	2222199	makmur 5, 28	2	11	0,18	0,15
27	2222210	makmur 4, 2	2	10	0,17	0,13
28	2222211	makmur 4, 1	2	10	0,17	0,13

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-31 januari 2016)		
				Pemakaian Total( $m^3$ )	Pemakaian rata-rata ( $m^3/org.hari$ )	Debit air limbah
29	2222214	makmur 5, 24	4	25	0,21	0,17
30	2222215	makmur 5, 30	5	33	0,22	0,18
31	2222216	makmur 5, 32	4	22	0,18	0,15
32	2222219	makmur 5, 40	4	13	0,11	0,09
33	2222230	makmur 2, 2	4	18	0,15	0,12
34	2222231	makmur 2, 1	4	23	0,19	0,15
Rata-rata					0,16	0,13

Tabel B. 2 Pemakaian air PDAM bulan Februari

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-29Februari 2016)		
				Pemakaian Total( $m^3$ )	Pemakaian rata-rata ( $m^3/org.hari$ )	Debit air limbah
1	2231025	Sejahtera 1, 52	2	15	0,52	0,41
2	2230945	Bahagia 1, 67	4	28	0,48	0,39
3	2230941	Bahagia 1, 59	5	34	0,39	0,31
4	2230936	Bahagia 2, 78	4	20	0,17	0,14

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-29Februari 2016)		
				Pemakaian Total(m <sup>3</sup> )	Pemakaian rata-rata (m <sup>3</sup> /org.bari)	Debit air limbah
5	2230935	Bahagia 2, 68	2	15	0,10	0,08
6	2231004	Bahagia 2, 61	2	10	0,06	0,05
7	2231003	Bahagia 2, 55	4	20	0,10	0,08
8	2230930	Bahagia 2, 48	2	10	0,04	0,03
9	2230932	Bahagia 2, 50	2	11	0,04	0,03
10	2231007	Kasih 9	10	55	0,19	0,15
11	2231006	Kasih 7	2	10	0,03	0,03
12	2231023	Sejahtera 1, 60	1	15	0,04	0,03
13	2231022	Bahagia 2, 45	4	21	0,06	0,04
14	2230991	Sejahtera 1, 26	3	15	0,04	0,03
15	2230996	Sejahtera 1, 38	2	11	0,03	0,02
16	2230997	Sejahtera 1, 40	1	10	0,02	0,02
17	2231051	Bahagia 2, 43	1	14	0,03	0,02
18	2222178	Makmur 1, 2	4	17	0,03	0,03
19	2222177	makmur 1, 1	2	10	0,02	0,01
20	2222183	makmur 5, 15	4	11	0,02	0,02

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-29Februari 2016)		
				Pemakaian Total(m <sup>3</sup> )	Pemakaian rata-rata (m <sup>3</sup> /org.beri)	Debit air limbah
21	2222185	makmur 5, 21	4	28	0,05	0,04
22	2222184	makmur 5, 17	2	10	0,02	0,01
23	2222186	makmur 5, 38	4	13	0,02	0,02
24	2222192	makmur 5, 6	4	18	0,03	0,02
25	2222196	makmur 5, 16	2	10	0,01	0,01
26	2222199	makmur 5, 28	2	10	0,01	0,01
27	2222210	makmur 4, 2	2	10	0,01	0,01
28	2222211	makmur 4, 1	2	15	0,02	0,01
29	2222214	makmur 5, 24	4	25	0,03	0,02
30	2222215	makmur 5, 30	5	38	0,04	0,03
31	2222216	makmur 5, 32	4	10	0,01	0,01
32	2222219	makmur 5, 40	4	15	0,02	0,01
33	2222230	makmur 2, 2	4	30	0,03	0,03
34	2222231	makmur 2, 1	4	26	0,03	0,02
		Rata-rata			0,08	0,06

Tabel B. 3 Pemakaian air PDAM bulan Maret

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-31 Maret2016)		
				Pemakaian Total(m <sup>3</sup> )	Pemakaian rata-rata (m <sup>3</sup> /org.hari)	Debit air limbah
1	2231025	Sejahtera 1, 52	2	30	1,93	1,55
2	2230945	Bahagia 1, 67	4	23	1,59	1,27
3	2230941	Bahagia 1, 59	5	32	2,73	2,18
4	2230936	Bahagia 2, 78	4	20	3,87	3,09
5	2230935	Bahagia 2, 68	2	11	3,54	2,84
6	2231004	Bahagia 2, 61	2	10	5,80	4,64
7	2231003	Bahagia 2, 55	4	10	3,38	2,71
8	2230930	Bahagia 2, 48	2	10	7,73	6,19
9	2230932	Bahagia 2, 50	2	10	7,91	6,33
10	2231007	Kasih 9	10	36	6,33	5,06
11	2231006	Kasih 7	2	11	11,70	9,36
12	2231023	Sejahtera 1, 60	1	10	7,73	6,19
13	2231022	Bahagia 2, 45	4	40	23,94	19,15

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-31 Maret 2016)		
				Pemakaian Total (m <sup>3</sup> )	Pemakaian rata-rata (m <sup>3</sup> /org hari)	Debit air limbah
14	2230991	Sejahtera 1, 26	3	12	10,83	8,66
15	2230996	Sejahtera 1, 38	2	12	15,82	12,65
16	2230997	Sejahtera 1, 40	1	10	15,47	12,37
17	2231051	Bahagia 2, 43	1	16	18,78	15,02
18	2222178	Makmur 1, 2	4	10	10,24	8,19
19	2222177	makmur 1, 1	2	10	18,37	14,69
20	2222183	makmur 5, 15	4	17	29,88	23,90
21	2222185	makmur 5, 21	4	18	13,05	10,44
22	2222184	makmur 5, 17	2	10	21,27	17,01
23	2222186	makmur 5, 38	4	14	23,94	19,15
24	2222192	makmur 5, 6	4	16	20,62	16,50
25	2222196	makmur 5, 16	2	10	24,17	19,33
26	2222199	makmur 5, 28	2	10	25,13	20,11
27	2222210	makmur 4, 2	2	10	26,10	20,88
28	2222211	makmur 4, 1	2	11	19,85	15,88
29	2222214	makmur 5, 24	4	25	28,03	22,43

No	Nomor Pelanggan	Alamat	Jumlah penghuni	PDAM periode (16-31 Maret 2016)		
				Pemakaian Total (m <sup>3</sup> )	Pemakaian rata-rata (m <sup>3</sup> /org hari)	Debit air limbah
30	2222215	makmur 5, 30	5	29	22,13	17,71
31	2222216	makmur 5, 32	4	10	29,97	23,97
32	2222219	makmur 5, 40	4	12	24,75	19,80
33	2222230	makmur 2, 2	4	20	21,27	17,01
34	2222231	makmur 2, 1	4	18	22,75	18,20
Rata-rata					15,61	15,04

## LAMPIRAN C KATALOG PRODUK





**Lem Pipa uPVC** 22 Oktober 2014

Jenis	Ukuran	Harga
Kemasan Tube	40 Gr	Rp. 5.500,-
Kemasan Botol	60 Gr	Rp. 7.500,-
Kemasan Kaleng	400 Gr	Rp. 36.000,-

**ROB-16** 9 Januari 2014

**PIPA PVC WAVIN STANDARD UNTUK APLIKASI AIR BERSIH & AIR BUANGAN**  
( PANJANG 4 M / BATANG )

PRODUK	UKURAN		TIPE	
	inch	mm	AW*	D**
	1/2"	22	Rp. 19.030,-	+
	3/4"	26	Rp. 26.070,-	+
	1"	32	Rp. 35.940,-	+
	1-1/4"	42	Rp. 53.480,-	Rp. 33.580,-
	1-1/2"	48	Rp. 61.580,-	Rp. 37.950,-
	2"	60	Rp. 78.540,-	Rp. 48.820,-
	2-1/2"	76	Rp. 114.820,-	Rp. 65.790,-
	3"	89	Rp. 154.650,-	Rp. 83.490,-
	4"	114	Rp. 258.080,-	Rp. 131.340,-
	5"	140	Rp. 424.270,-	Rp. 211.750,-
	6"	165	Rp. 585.100,-	Rp. 279.290,-
	8"	216	Rp. 896.800,-	Rp. 491.200,-
10"	267	Rp. 1.544.400,-	Rp. 809.270,-	
12"	318	Rp. 2.173.560,-	Rp. 1.136.080,-	

**ROB-17** 9 Januari 2014

**PIPA PVC RUCIKA STANDARD JIS K-5741 / K-57**  
( PANJANG 4 M / BATANG )

PRODUK	UKURAN		TIPE	
	inch	mm	UPH*	UPH**
	1/2"	22	Rp. 34.780,-	+
	3/4"	26	Rp. 41.850,-	+
	1"	32	Rp. 60.720,-	+
	1-1/4"	42	Rp. 81.840,-	+
	1-1/2"	48	Rp. 108.490,-	Rp. 55.770,-
	2"	60	Rp. 161.250,-	Rp. 70.400,-
	2-1/2"	76	Rp. 194.700,-	Rp. 111.420,-
	3"	89	Rp. 298.670,-	Rp. 155.870,-
	4"	114	Rp. 458.560,-	Rp. 233.970,-
	5"	140	Rp. 800.270,-	Rp. 369.500,-
	6"	165	Rp. 901.340,-	Rp. 529.870,-
	8"	216	Rp. 1.363.230,-	Rp. 684.070,-
10"	267	Rp. 2.577.120,-	Rp. 1.309.220,-	
12"	318	Rp. 2.946.670,-	Rp. 1.638.320,-	

Catatan: \*) 700 / 100' Pipa untuk tekanan body 10 Kg / cm<sup>2</sup> \*\*) D / 100' Pipa untuk tekanan body 5 Kg / cm<sup>2</sup>  
 \* Harga sudah termasuk PPN 10 %  
 \*\* Persediaan barang dapat lebih tergarap berdasarkan teknik diatas.

**ROB-18** 9 Januari 2014

**FITTING RUCIKA STANDARD JIS K - 5743 UNTUK APLIKASI AIR BERSIH BERTEKANAN**

**UNION SOCKET ( AW )**



UKURAN	ISI / BOX	HARGA
1/2"	110	Rp. 18.750,-
3/4"	72	Rp. 24.250,-
1"	54	Rp. 33.350,-
1-1/4"	30	Rp. 65.480,-
1-1/2"	18	Rp. 75.600,-

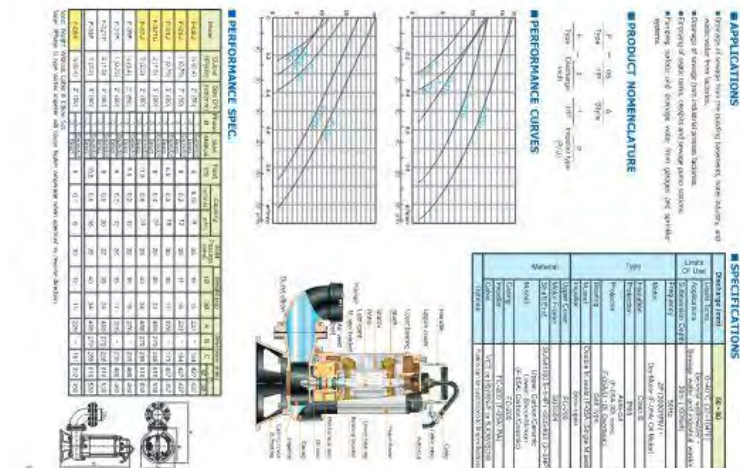
**UNION THREAD ( AW )**



UKURAN	ISI / BOX	HARGA
1/2"	110	Rp. 19.700,-
3/4"	72	Rp. 24.250,-
1"	54	Rp. 33.360,-
1-1/4"	30	Rp. 65.490,-
1-1/2"	18	Rp. 75.600,-

Gambar C. 1 Katalog pipa dan aksesoris Rucika





Gambar C. 2 Katalog pompa HCP

## LAMPIRAN D RENCANA ANGGARAN BIAYA

### a. Tahap Persiapan

No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
<b>I</b>	<b>Pembersihan Lapangan "Ringan" dan Perataan</b>					
A	Upah:					
1	Mandor	0,025	OH	2000	120.000	6.000.000
2	Pembantu Tukang	0,05	OH	2000	99.000	9.900.000
	<b>Jumlah</b>					<b>15.900.000</b>
<b>II</b>	<b>Pembuatan Bouwplank /Titik</b>					
A	Bahan dan Material:					
1	Paku Biasa 2 - 5 inchi	0,05	Doz	10	27.000	13.500
2	Kayu Meranti Usuk 4/6, 5/7	0,012	m <sup>3</sup>	10	4.500.000	540.000
3	Kayu Meranti Bekisting	0,008	m <sup>3</sup>	10	3.200.000	256.000
B	Upah:					
1	Mandor	0,0045	OH	10	12.000	540
2	Kepala Tukang	0,01	OH	10	110.000	11.000
3	Tukang	0,1	OH	10	105.000	105.000

No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
4	Pembantu Tukang	0,1	OH	10	99.000	99.000
	<b>Jumlah</b>					<b>1.025.040</b>
<b>III</b>	<b>Pengukuran dan Pemasangan Bouwplank</b>					
A	Bahan dan Material:					
1	Paku Biasa 2 - 5 inchi	0,02	Doz	198	27.000	106.920
2	Kayu Meranti Papan 2/20, 4/10	0,007	m <sup>3</sup>	198	2.830.000	3.922.380
3	Kayu Meranti Usuk 4/6, 5/7	0,012	m <sup>3</sup>	198	4.500.000	10.692.000
	Upah:					
	Mandor	0,0045	OH	198	120.000	106.920
	Kepala Tukang	0,01	OH	198	110.000	217.800
	Tukang	0,1	OH	198	105.000	2.079.000
	Pembantu Tukang	0,1	OH	198	99.000	1.960.200
	<b>Jumlah</b>					<b>19.085.220</b>
<b>Jumlah Total Pekerjaan</b>						<b>36.010.260</b>

## b. Pekerjaan Utama

No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
<b>I</b>	<b>Penggalian Tanah dengan Alat Berat</b>					
A	Sewa Peralatan:		m <sup>3</sup>			
1	Sewa Dump Truk 5 Ton	0,067	jam	3615	66.100	16.009.751
2	Sewa Escavtor 6m3	0,067	jam	3615	132.200	32.019.501
B	Upah:					
1	Mandor	0,007	OH	3615	120.000	3.036.600
2	Pembantu Tukang	0,226	OH	3615	99.000	80.882.010
	<b>Jumlah</b>					<b>131.947.862</b>
<b>II</b>	<b>Pengangkutan Tanah dr. Lubang Galian Dalamnya Lebih Dari 1 m</b>					
A	Upah:		m <sup>3</sup>			
1	Mandor	0,0075	OH	47,32	120.000	42.588
2	Pembantu Tukang	0,15	OH	47,32	99.000	702.702
	<b>Jumlah</b>					<b>745.290</b>
<b>III</b>	<b>Pekerjaan Dinding Beton Bertulang (150 kg besi + Bekisting)</b>					
A	Bahan:		m <sup>3</sup>			

No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
1	Semen PC 40 kg	8,4	Zak	282	63.000	149.234.400
2	Pasir Cor/Beton	0,54	m <sup>3</sup>	282	232.100	35.344.188
3	Batu Pecah Mesin 1/2 cm	0,81	m <sup>3</sup>	282	466.000	106.443.720
4	Besi Beton Polos	157,5	Kg	282	12.000	532.980.000
5	Paku Triplek/Eternit	3,2	Kg	282	22.000	19.852.800
6	Plywood Uk .122x244x9 mm	2,8	Lembar	282	93.600	73.906.560
7	Kawat Ikat	2,25	Kg	282	23.000	14.593.500
8	Kayu Kamper Balok 4/6, 5/7	0,16	m <sup>3</sup>	282	6.400.000	288.768.000
9	Kayu Meranti Bekisting	0,24	m <sup>3</sup>	282	3.200.000	216.576.000
10	Minyak Bekisting	1,6	Lliter	282	28.300	12.768.960
B	Upah:					
1	Mandor	0,265	OH	282	120.000	8.967.600
2	Kepala Tukang	0,262	OH	282	110.000	8.127.240
3	Tukang	1,3	OH	282	105.000	38.493.000
4	Tukang	0,275	OH	282	105.000	8.142.750
5	Tukang	1,05	OH	282	105.000	31.090.500
6	Pembantu Tukang	5,3	OH	282	99.000	147.965.400

No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
	Jumlah					1.693.254.618
IV	Pekerjaan Plat Lantai Beton (1 Pc : 2 Ps : 3 Kr)					
A	Upah:		m <sup>3</sup>			
1	Pekerjaan Beton K-225	1	m <sup>3</sup>	561	1.153.439	647.079.363
2	Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos/ulir)	100	Kg	561	14.498	813.337.800
3	Pekerjaan Bekisting Lantai	1,2	m <sup>2</sup>	561	378.800	255.008.160
	Jumlah					1.715.425.323
V	Pekerjaan Plat Tutup Beton (1 Pc : 2 Ps : 3 Kr)					
A	Upah:		m <sup>3</sup>			
1	Pekerjaan Beton K-225	1	m <sup>3</sup>	2	1.153.439	2.306.878
2	Pekerjaan Pembesian dengan besi beton (polos/ulir)	100	Kg	2	14.498	2.899.600
3	Pekerjaan Bekisting Lantai	1,2	m <sup>2</sup>	2	378.800	909.120
	Jumlah					6.115.598
Jumlah Total Pekerjaan						3.546.743.401

### c. Pekerjaan Finishing

No	Uraian Pekerjaan	Koefisien	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Harga (Rp)
I	Pengurugan tanah Kembali untuk Konstruksi					
A	Upah:		m <sup>3</sup>			
1	Mandor	0,019	OH	135	120.000	307.800
2	Pembantu Tukang	0,102	OH	135	99.000	1.363.230
	<b>Jumlah</b>					<b>1.671.030</b>

